



## **PFAS nelle acque sotterranee della Campania: risultati del monitoraggio 2018–2024, valutazione degli impatti e analisi delle tendenze evolutive (A.Mottola, G. Ruggieri, P.Cau)**

A partire dal 2018 l'ARPAC ha avviato l'attività di monitoraggio delle sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS) nelle acque sotterranee della regione Campania, nell'ambito delle attività di monitoraggio dello stato chimico dei corpi idrici sotterranei (CISS) previste dalla normativa nazionale di recepimento (D.Lgs. 30/2009 e DM 6 Luglio 2016) delle Direttive Europee 2006/118/CE e 2014/80/UE.

In una fase preliminare della pianificazione del monitoraggio è stata effettuata una selezione dei corpi idrici sotterranei maggiormente suscettibili alla presenza di tali contaminanti, sulla base dell'analisi delle principali pressioni antropiche insistenti sul territorio regionale. Tra gli 81 corpi idrici sotterranei individuati nel distretto idrografico regionale, sono stati pertanto prioritariamente considerati quelli per i quali le informazioni disponibili indicavano una potenziale vulnerabilità rispetto alla pressione da PFAS.

La selezione dei corpi idrici sotterranei da sottoporre a monitoraggio è stata effettuata tenendo conto anche degli esiti dell'analisi del rischio di mancato raggiungimento dello stato chimico buono, elaborata dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale nell'ambito delle attività di pianificazione (Piano di Gestione delle Acque) previste dalla Direttiva 2000/60/CE (Water Framework Directive) e della normativa nazionale di recepimento (D.Lgs. 152/2006).

Nel presente studio viene analizzato il periodo di monitoraggio compreso tra il 2018 e il 2024, utilizzando i dati attualmente disponibili nel Sistema Informativo Regionale Ambientale della Campania (SIRA), gestito da ARPAC, che costituisce la piattaforma ufficiale per la gestione, l'archiviazione e l'elaborazione delle informazioni ambientali regionali.

Nel corso del periodo considerato, il numero di corpi idrici sotterranei sottoposti a monitoraggio delle sostanze PFAS è progressivamente aumentato, in relazione sia all'evoluzione delle conoscenze sui cosiddetti contaminanti emergenti, sia al progressivo potenziamento delle attività di monitoraggio ambientale svolte dall'Agenzia. Tale ampliamento della rete di monitoraggio ha consentito di migliorare la copertura territoriale delle indagini e di acquisire un quadro conoscitivo più completo della distribuzione delle sostanze PFAS nei corpi idrici sotterranei della Campania.

Nel quadro delle attività di monitoraggio dei corpi idrici sotterranei, sono state ricercate diverse sostanze appartenenti alla famiglia dei PFAS (sostanze per- e polifluoroalchiliche). In particolare, il set analitico include sia Sostanze PFAS richiamate dal D.M. 6 luglio 2016, sia ulteriori Sostanze PFAS non esplicitamente elencati nel succitato decreto. Attualmente, le sostanze PFAS monitorate sono 23 (cfr. Tab1).

**Si descrive dunque il monitoraggio e gli esiti di quest'ultimo in modo organico con particolare attenzione alla frequenza di campioni con concentrazioni superiori al Limite di Quantificazione (LdQ), non risultando superamenti in senso stretto rispetto alle medie annuali con riferimento ai valori soglia (VS) richiamati in DM 6 Luglio 2016 per le succitate sostanze.**

Negli anni il monitoraggio delle sostanze PFAS si è gradualmente esteso ad un numero crescente di Corpi Idrici Sotterranei e di Siti di Campionamento. Dal 2022 il monitoraggio delle sostanze PFAS è stato notevolmente ampliato, in seguito a una sempre maggiore attenzione verso questa potenziale contaminazione emergente fino a un massimo di n. 17 Corpi Idrici Sotterranei. Anche il numero di

stazioni di monitoraggio (alias Siti di Campionamento) è andato aumentando negli anni: da n. 5 nel 2018 fino ad un massimo a n. 28 negli anni successivi.

PROG.	SOSTANZA PFAS	Valore soglia ( $\mu\text{g/L}$ ) - D.M. 6 luglio 2016
1	PFOS	0,03
2	PFBS	3
3	PFHxS	ND
4	PFDoDA	ND
5	PFBA	ND
6	PFUnA	ND
7	PFPeA	3
8	PFHxA	1
9	PFDoA	ND
10	PFOA	0,5
11	PFDA	ND
12	PFHpA	ND
13	PFNA	ND
14	cC604	ND
15	PFUnDA	ND
16	HFPO-DA (GenX)	ND
17	PFHpS	ND
18	4:2 FTS	ND
19	6:2 FTS	ND
20	8:2 FTS	ND
21	PFPeS	ND
22	PFNS	ND
23	PFDS	ND

Tab 1. Sostanze PFAS monitorate nei corpi idrici sotterranei nel periodo 2018–2024. In rosso: Sostanze PFAS in DM 6Luglio2016

Nel periodo considerato vi è un progressivo incremento dell'attività di monitoraggio. Nei primi anni della serie (2018–2021) il numero di stazioni monitorate è relativamente limitato e varia tra 5 e 9 stazioni all'anno (cfr Tab. 3). A partire dal 2022 si registra invece un marcato aumento della rete di monitoraggio, con un massimo di 28 numero di campioni effettuati nel 2022, valore che rimane sostanzialmente confermato nel 2024. Si è proceduto quindi al rafforzamento del programma di monitoraggio ambientale, puntando ad una intensificazione dell'attenzione verso la problematica della potenziale contaminazione da PFAS. Le stazioni di monitoraggio con il numero complessivo più elevato di campionamenti (2018–2024) sono: Bvr26 (CIS: Piana del Volturno in Sinistra Idrografica e Regi Lagni) e Sol (CIS: Solofra Plain), con 12 campionamenti, Ben2 (CIS: Benevento Plain, Nap20 (CIS: Piana ad Oriente di Napoli) e Sar8 (Sarno Plain), con 9 campionamenti. Queste stazioni rappresentano i siti di campionamento ritenuti prioritari per la valutazione della eventuale presenza di detti inquinanti. Nel periodo analizzato sono stati campionati 110 siti di monitoraggio. Sono state incrementate progressivamente le attività di monitoraggio delle sostanze PFAS, con l'obiettivo di migliorare la conoscenza della distribuzione e dell'eventuale evoluzione della presenza di PFAS nel territorio monitorato.

Prog.	CORPO IDRICO SOTTERRANEO MONITORATO (PFAS)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1	Alburni Mountains							
2	Alento Plain							
3	Alta Valle del Sabato							
4	Area di Apice-Grottaminarda					X	X	X
5	Area di Ariano Irpino							
6	Area di Casalduni							
7	Area di Castelpagano							
8	Area di Ceppaloni							
9	Area di Colle Sannita							
10	Area di Fragneto l' Abate							
11	Area di Fragneto Monforte						X	
12	Area di Ginestra degli Schiavoni							
13	Area di Luogosano							
14	Area di Pesco Sannita							
15	Area di Pietrelcina							
16	Area di S. Angelo a Cupolo							
17	Area di S. Angelo dei Lombardi							
18	Area di S. Croce del Sannio							
19	Area di S. Leucio del Sannio							
20	Area di S. Marco dei Cavoti							X
21	Area di San Giorgio La Molara							
22	Area S. Arcangelo Trimonte							
23	Avella-Partenio-Pizzo d' Alvano Mountain						X	
24	Bassa Valle del Calore							
25	Basso corso del Tanagro					X	X	
26	Benevento Plain	X	X	X	X	X	X	X
27	Bulgheria Mountain							
28	Bussento Plain							
29	Calvello Mountain							
30	Campi Flegrei							
31	Camposauro Mountain							
32	Centaurino Mountain							
33	Cervati Mountain-Vesole Mountain							
34	Cervialto Mountain							
35	Complesso Tufaceo Basso Volturno					X	X	X
36	Difesa Mountain							
37	Durazzano Mountain							
38	Forcella-Salice-Coccolvello Mountains							
39	Friente Mountain							
40	Garigliano Plain							
41	Ischia Island							
42	Isclero Plain					X	X	X
43	Lattari-Isola di Capri Mountains					X		
44	Limatola-Volturno Plain							
45	M. Accellica-M. Licini-M. Mai							
46	M. Somma - Vesuvio							
47	Maddalena Mountains					X	X	X
48	Maggiore Mountain							
49	Mainarde-Venafro Mountains							
50	Maiulo Mountain							
51	Marzano Mountain-Ogna Mountain							
52	Massico Mountain							
53	Matese Mountain							
54	Media Valle del Mingardo							
55	Media Valle del Volturno							
56	Montella Plain							
57	Moschiaturo Mountain							
58	Motola Mountain							
59	Oriente di Napoli Plain	X	X	X	X	X	X	X
60	Piana Volturno in Destra Idrografica							
61	Piana Volturno in sinistra idrografica - Regi Lagni	X	X	X	X	X	X	X
62	Pisciotta-S. Mauro la Bruca							
63	Polveracchio-Raione Montain							
64	Presenzano e Riardo Plain							
65	Procida Island							
66	Roccamonfina							
67	S. Stefano Mountain							
68	Sacro-Gelbison Mountain							
69	Salerno Mountain							
70	Sarno Plain		X	X	X	X	X	X
71	Sele Plain					X	X	X
72	Solofra Plain	X	X	X	X	X	X	X
73	Somma Vesuvio					X	X	X
74	Stella Mountain							
75	Taburno Mountain							
76	Terminio-Tuoro Mountain							
77	Tifatina Mountain							
78	Toppo Povero Mountain							
79	Uffita Plain					X	X	X
80	Vallo di Diano Plain							
81	Venafro Plain							

Tab 2. Corpi Idrici Sotterranei monitorati per PFAS nel periodo 2018–2024.

PROG. CIS	CISS	PROG. STZ	STAZIONI MONITORATE (PFAS)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	TOTALE STAZIONE (2018 - 2024)
1	Area di Apice-Grottaminarda	1	AG1	0	0	0	0	0	1	0	1
		2	AG1a	0	0	0	0	2	0	1	3
		3	AG2	0	0	0	0	0	0	1	1
2	Avella-Partenio-Pizzo d'Alvano Mountain	4	Ave15	0	0	0	0	0	1	0	1
		5	Ben2	0	1	2	1	2	1	2	9
3	Benevento Plain	6	Ben5	0	0	0	0	2	1	2	5
		7	Bvr26	1	1	2	2	2	2	2	12
4	Piana Volturno in sinistra idrografica – Regi Lagni	8	Bvr7	1	0	0	0	0	0	0	1
		9	C-TUFBV2	0	0	0	0	2	2	2	6
6	Area di Fragneto Monforte	10	FRM2	0	0	0	0	0	1	0	1
7	Ufita Plain	11	Gro4	0	0	0	0	2	1	2	5
8	Isclero Plain	12	Isc5	0	0	0	0	2	1	2	5
9	Lattari-Isola di Capri Mountains	13	Lat4	0	0	0	0	2	0	0	2
10	Maddalena Mountains	14	Mad1	0	0	0	0	1	2	2	5
11	Oriente di Napoli Plain	15	Nap20	0	1	1	1	2	2	2	9
		16	Nap31	1	1	0	1	0	0	0	3
		17	Nap9	0	0	0	0	0	2	2	4
		18	Nap9A	1	0	0	0	0	0	0	1
12	Sarno Plain	19	Sar8	0	1	2	2	2	1	1	9
13	Sele Plain	20	Sel3	0	0	0	0	2	2	2	6
14	Area di S. Marco dei Cavoti	21	Smc1	0	0	0	0	0	0	1	1
15	Solofra Plain	22	Sol	1	1	2	2	2	2	2	12
16	Basso corso del Tanagro	23	Tan3	0	0	0	0	1	1	0	2
17	Somma Vesuvio	24	Ves10	0	0	0	0	2	2	2	6
TOTALE STAZIONI PER ANNO				5	6	9	9	28	25	28	110

Tab3. Corpi Idrici Sotterranei in cui sono monitorati i PFAS e relative stazioni di monitoraggio interessante dal campionamento nel periodo 2018-2024

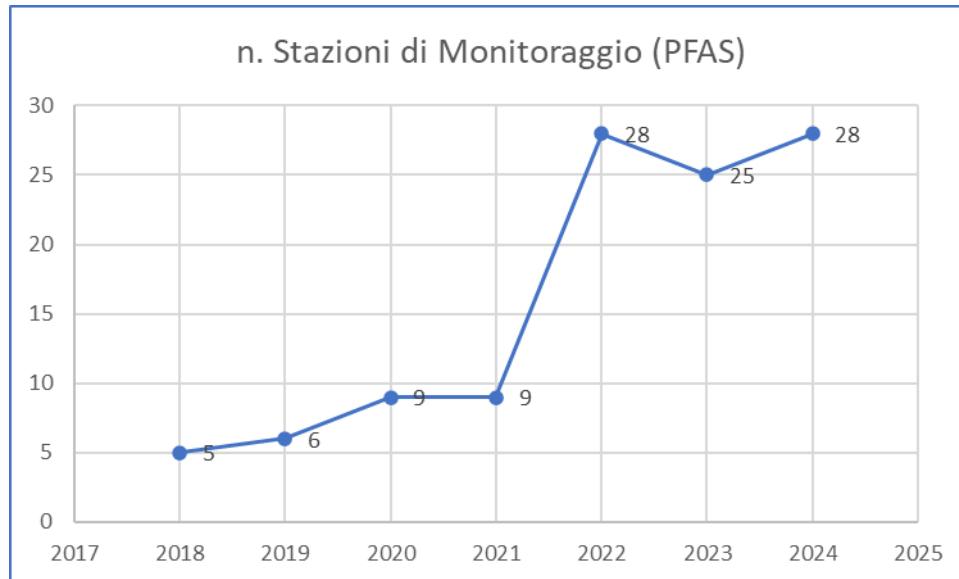


Fig. 1. Numero di stazioni di monitoraggio (PFAS) nel periodo 2018-2024



## Distribuzione dei superamenti del limite di quantificazione (LdQ) dei PFAS nei CISS indagati nel periodo 2018–2024.

Viene qui analizzata la distribuzione dei superamenti del limite di quantificazione (LdQ) per diversi composti PFAS nelle acque sotterranee dei corpi idrici sotterranei indagati nel periodo 2018–2024. Nel complesso, i risultati evidenziano una distribuzione eterogenea dei PFAS nei diversi Corpi Idrici Sotterranei con una maggiore frequenza di superamenti dei limiti di quantificazione in alcuni contesti idrogeologici rispetto ad altri (cfr. Fig.2). In particolare, la Solofra Plain mostra il numero più elevato di superamenti dei Limiti di Quantificazione, soprattutto per composti quali PFBS, PFHxS e PFOS, indicando una presenza relativamente più diffusa di PFAS rispetto agli altri corpi idrici analizzati. Anche nella Sarno Plain si osservano diversi superamenti dei Limiti di Quantificazione, in particolare per PFBS e PFOS, sebbene con frequenze inferiori rispetto alla Solofra Plain. Nel settore della Piana del Volturno in Sinistra idrografica Regi Lagni si registrano superamenti dei Limiti di Quantificazione principalmente per PFHxA, PFPeA e PFOS, suggerendo la predominanza di PFAS a catena corta, noti per la loro maggiore mobilità nei sistemi idrogeologici. Negli altri corpi idrici sotterranei analizzati, come la Sele Plain, Ufita Plain e il CIS Somma-Vesuvio, i superamenti dei Limiti di Quantificazione risultano generalmente sporadici e limitati a pochi composti, indicando una presenza meno consistente di PFAS nelle acque sotterranee. Nel complesso, si evidenzia (figure 2 e 3) che i composti più frequentemente rilevati sopra il limite di quantificazione sono PFBS, PFHxA, PFPeA e PFOS, mentre altri PFAS risultano raramente quantificabili o non rilevati nei campioni analizzati. Questo pattern è coerente con la maggiore mobilità dei PFAS a catena corta nei corpi idrici sotterranei.

I risultati indicano quindi un impatto presente da PFAS ma generalmente a bassa intensità, con una marcata variabilità spaziale tra i diversi corpi idrici sotterranei e una maggiore frequenza di rilevamenti in alcune aree specifiche della regione. L'interpretazione (figure 2 e 3) evidenzia inoltre differenze significative tra i diversi corpi idrici sotterranei. In particolare, la Solofra Plain rappresenta il sistema con il quadro più marcato di rilevazioni, con frequenze relativamente elevate di superamenti (LdQ) per PFBS (7/12), PFHxS (6/9) e PFOS (4/12), oltre alla presenza di altri composti quali PFHpA, PFHxA, PFOA, PFPeA e PFHpS con frequenze più contenute. Anche la Sarno Plain mostra una presenza significativa di PFAS, soprattutto per PFBS (6/9) e PFOS (3/9). Nel CIS Somma Vesuvio, i superamenti (LdQ) risultano concentrati prevalentemente su PFBS (4/6) e, con frequenza minore, su PFHxA (2/6) e PFPeA (2/6). Nella Isclero Plain si osservano superamenti (LdQ) ripetuti per PFHxA, PFOS e PFPeA (2/5 ciascuno). Nel settore della Piana del Volturno in sinistra idrografica – Regi Lagni, i superamenti (LdQ) risultano distribuiti su più sostanze (PFOS, PFHxA, PFPeA e PFOA), suggerendo una contaminazione multi-composto a bassa o media frequenza. Nella Oriente di Napoli Plain si osservano superamenti (LdQ) principalmente per PFOS e PFHxS, con presenze minori di PFBS, PFDoDA e PFHxA, mentre nella Benevento Plain si registrano superamenti (LdQ) multipli ma generalmente contenuti per PFBS, PFHxA, PFOA, PFOS e PFPeA, oltre a PFHpA e PFHpS. In altri corpi idrici, come il Complesso Tufaceo Basso Volturno, la Ufita Plain, la Sele Plain e le Maddalena Mountains, le rilevazioni risultano invece sporadiche e limitate a pochi campioni

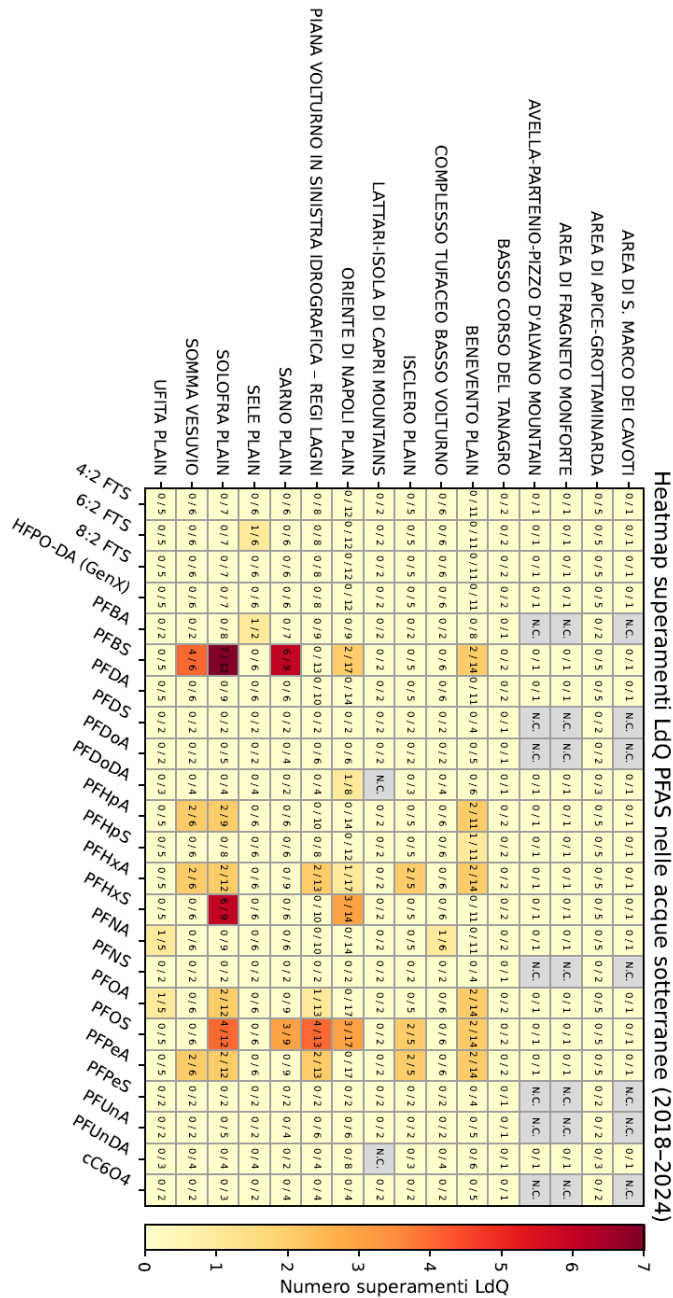


Fig. 2: Frequenze dei Superamenti LdQ per specie di sostanze PFAS osservati in tutti i corpi idrici sotterranei monitorati nel periodo :2018 – 2024. Esito analitico non disponibile per la particolare specie PFAS (N.C.)

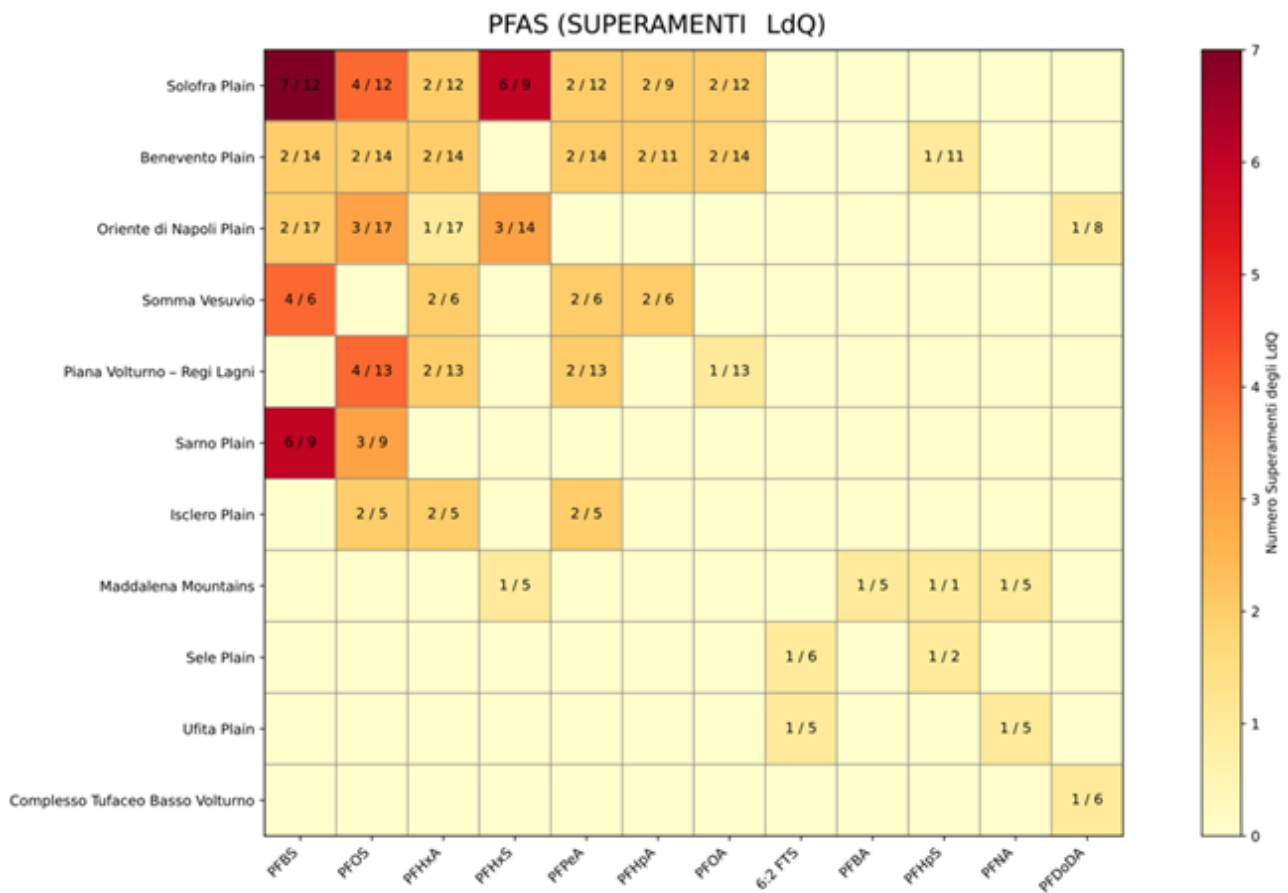


Fig. 3: Frequenze dei Superamenti LdQ per specie di sostanze PFAS osservati nei corpi idrici sotterranei nel periodo (2018 – 2024).

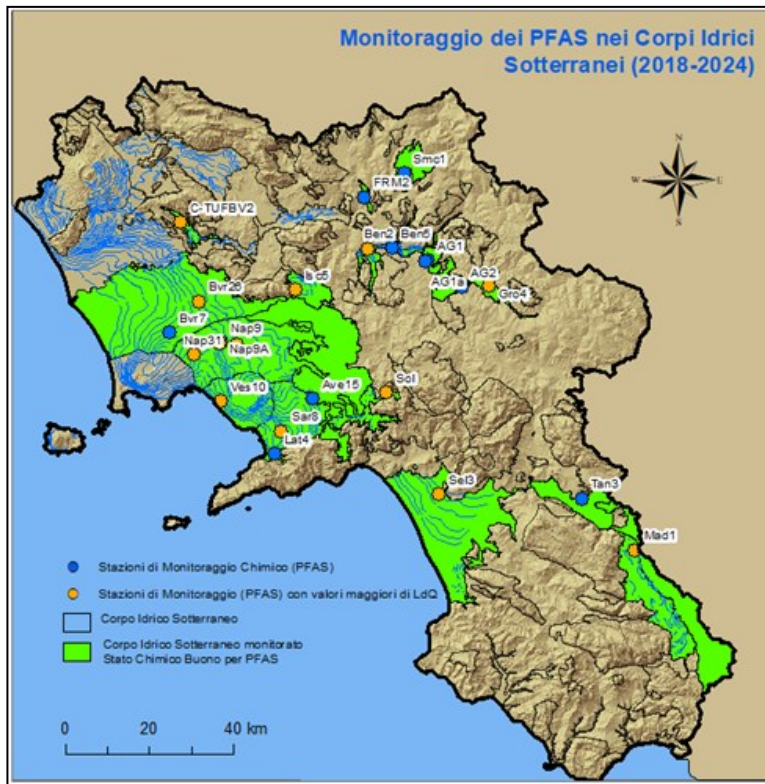


Fig. 4. : Stazioni di Monitoraggio delle Sostanze PFAS. Superamenti LdQ

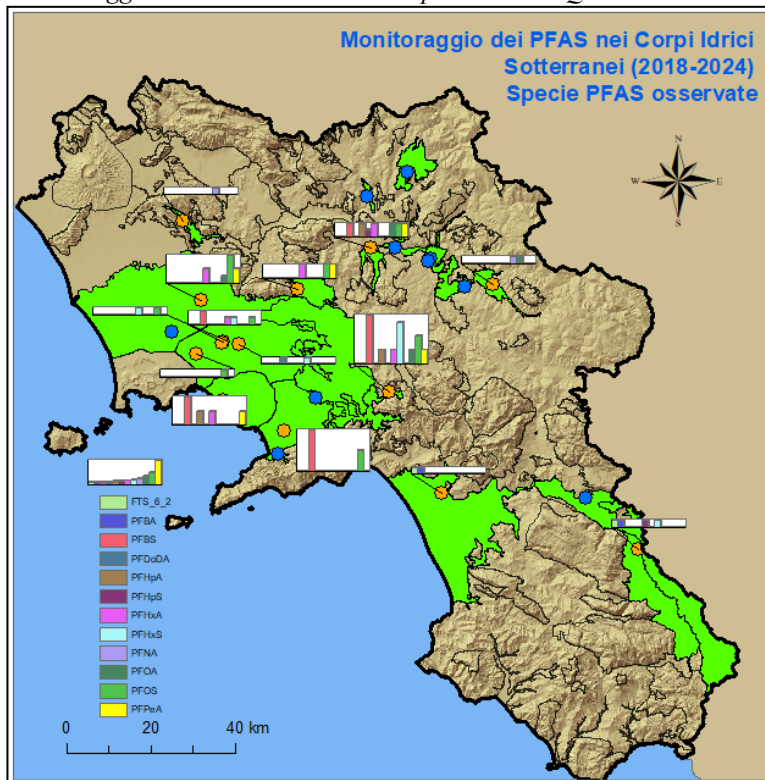


Fig. 5 : Sostanze PFAS che superano gli LdQ in alcune stazioni di monitoraggio (2018 – 2024)

## I PFAS nel CIS “Solofra Plain”

Il diagramma a boxplot (fig. 6) illustra la distribuzione delle concentrazioni di diverse sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS) rilevate nei campioni di acque sotterranee raccolti nella Solofra Plain (sito di campionamento: Sol). Sono stati registrati superamenti del limite di quantificazione (LdQ) ma **nessun superamento dei valori soglia (DM 6 luglio 2016)**, mentre in altri campionamenti, effettuati in anni differenti, le concentrazioni sono risultate inferiori alla soglia analitica di quantificazione. Emergono chiare differenze tra i composti in termini di valori mediani, variabilità e pattern di occorrenza, indicando la presenza di sostanze PFAS eterogenee della stazione Sol.

Tra i composti analizzati, PFBS e PFHxS mostrano le concentrazioni più elevate e i maggiori intervalli di dispersione. I valori mediani per questi composti si collocano intorno a 0.007–0.008 (microgrammi / litro), con valori massimi che raggiungono circa 0.010–0.012 (microgrammi / litro). Gli intervalli interquartili relativamente ampi denotano una significativa variabilità, che può riflettere la presenza di differenti sorgenti di contaminazione.

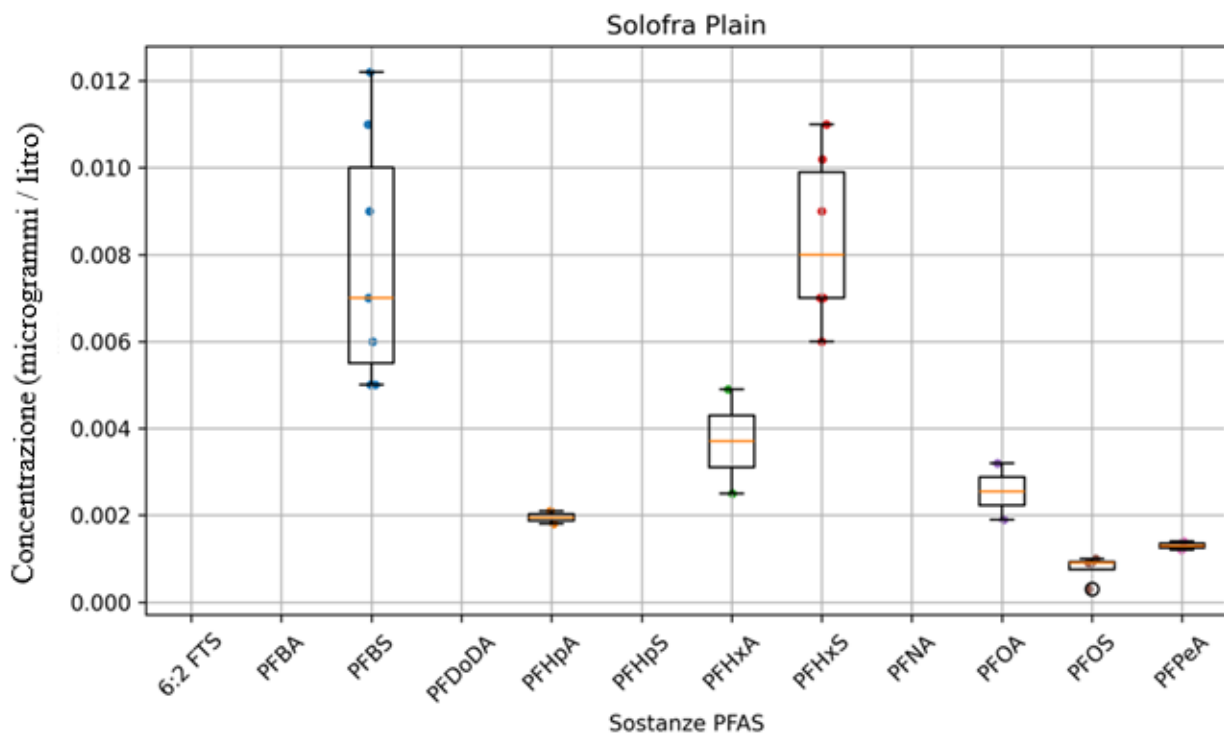


Fig. 6 : BoxPlot delle sostanze PFAS che superano gli LdQ nella Stazione “Sol” della Solofra Plain (2018 – 2024). Concentrazioni espresse in microgrammi / litro.



Livelli di concentrazione intermedi si osservano per PFHxA e PFOA, con valori mediani generalmente compresi tra circa 0.002 e 0.004 (microgrammi / litro). Al contrario, composti come PFHpA, PFOS e PFPeA mostrano concentrazioni costantemente più basse e distribuzioni più ristrette, indicando una presenza più limitata nelle acque sotterranee campionate. Nel complesso, il dataset evidenzia una predominanza di PFAS a catena corta e media, caratterizzati da maggiore solubilità e minore affinità di adsorbimento rispetto ai composti a catena lunga. Queste proprietà chimico-fisiche favoriscono la loro mobilità nei sistemi di acque sotterranee e ne facilitano la migrazione attraverso i mezzi porosi. Di conseguenza, la loro presenza a concentrazioni relativamente più elevate può riflettere sia apporti industriali recenti sia meccanismi di trasporto idrogeologico rapidi.

Probabilmente le sorgenti di contaminazione antropica sono associate alle attività industriali storicamente presenti nell'area di Solofra. La predominanza di composti come PFBS e PFHxS può essere legata al loro ampio utilizzo industriale e, in alcuni casi, al loro ruolo di sostituti dei PFAS a catena lunga, progressivamente limitati negli ultimi decenni. Questi risultati evidenziano l'importanza di integrare un approfondimento dell'analisi delle pressioni antropiche, analisi idrogeologiche e monitoraggio dei contaminanti per comprendere meglio la migrazione dei PFAS all'interno del corpo idrico sotterraneo.

## I PFAS nel CIS “Benevento Plain”

Il boxplot (fig. 7) rappresenta la distribuzione delle concentrazioni di diversi composti appartenenti alla classe dei PFAS rilevati nelle acque sotterranee della Benevento Plain. Tra i due siti di monitoraggio investigati (Ben2 e Ben5), solo nella stazione Ben2 sono stati registrati superamenti del limite di quantificazione (LdQ) ma **nessun superamento dei valori soglia (DM 6 luglio 2016)**, mentre in altri campionamenti, effettuati in anni differenti, le concentrazioni sono risultate inferiori alla soglia analitica di quantificazione.. Pertanto, il grafico riporta esclusivamente i dati relativi ai valori superiori al LdQ osservati nel punto di monitoraggio Ben2, mentre nel sito Ben5 le concentrazioni dei PFAS risultano inferiori alla soglia analitica di quantificazione.

L'analisi della distribuzione dei dati evidenzia la presenza di diversi composti PFAS con concentrazioni quantificabili, sebbene con valori complessivamente contenuti. In particolare, PFOA e PFOS mostrano le concentrazioni più elevate, con mediane comprese approssimativamente tra 0.003 e 0.004 microgrammi / litro, indicando una presenza

relativamente più significativa rispetto agli altri composti analizzati. Inoltre, tali sostanze presentano una variabilità moderata, come evidenziato dall'ampiezza degli intervalli interquartili.

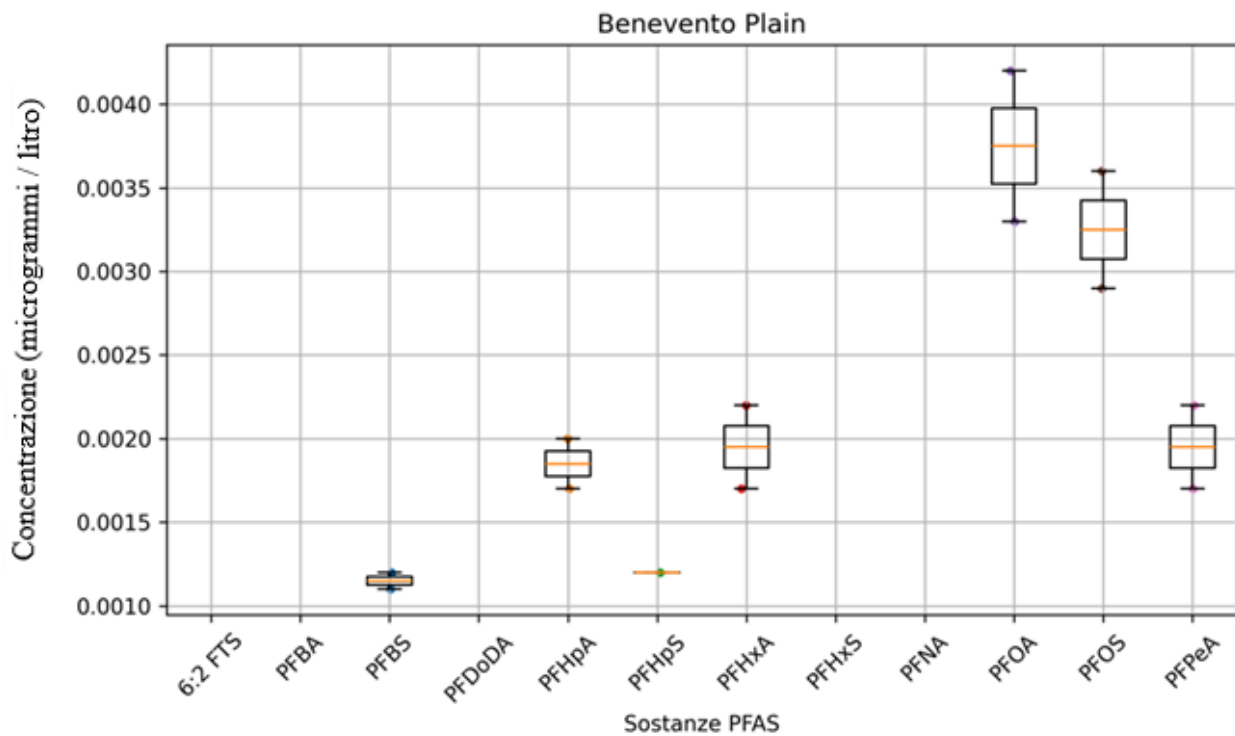


Fig. 7 : BoxPlot delle sostanze PFAS che superano gli LdQ nelle Stazioni "Ben2 e Ben5" della Benevento Plain (2018 – 2024). Concentrazioni espresse in microgrammi / litro.

Valori intermedi sono osservati per PFHxA, PFHpA e PFPeA, con concentrazioni generalmente comprese tra circa 0.0017 e 0.0022, suggerendo una presenza diffusa ma a livelli inferiori rispetto ai composti dominanti nella stazione Ben2. Al contrario, sostanze come PFBS e PFHxS mostrano concentrazioni più basse e una variabilità limitata, indicando una presenza meno rilevante nel corpo idrico sotterraneo analizzato. La predominanza di PFOA e PFOS, composti appartenenti ai PFAS a catena più lunga, può riflettere un contributo legato a utilizzi industriali o a contaminazioni storiche, considerata la loro maggiore persistenza ambientale. La presenza concomitante di composti a catena più corta (ad esempio PFHxA e PFHpA) potrebbe invece indicare processi di trasformazione ambientale o l'impiego più recente di PFAS sostitutivi. La distribuzione osservata, limitata alla sola stazione Ben2, suggerisce un'estensione del monitoraggio anche ad altre stazioni del richiamato CIS. Tuttavia, i superamenti dei limiti di quantificazione richiamati può essere anche indicativo di un impatto relativo in vicinanza a potenziali sorgenti antropiche. L'assenza di superamenti del LdQ nella stazione Ben5 indica infatti che, nel resto dell'area monitorata, le concentrazioni di

PFAS risultano inferiori alla soglia di quantificazione analitica. Nel complesso, i risultati indicano che la presenza di PFAS nelle acque sotterranee della Benevento Plain è limitata e spazialmente eterogenea, con evidenze di concentrazioni quantificabili esclusivamente nel sito Ben2.

### Le sostanze PFAS nel CIS “ Piana ad Oriente di Napoli”

Il boxplot (fig. 8) rappresenta la distribuzione delle concentrazioni di diversi composti appartenenti alla classe dei PFAS rilevati nelle acque sotterranee della Piana ad Oriente di Napoli. Le elaborazioni riguardano quattro stazioni di monitoraggio del succitato corpo idrico dedicate al monitoraggio dei PFAS: Nap9, Nap9a, Nap20 e Nap31). In tutti e quattro i siti di campionamento sono stati osservati superamenti del limite di quantificazione (LdQ), ma **nessun superamento dei valori soglia (DM 6 luglio 2016)**, mentre in altri campionamenti, effettuati in anni differenti, le concentrazioni sono risultate inferiori alla soglia analitica di quantificazione. Tuttavia, tali superamenti LdQ non sono stati registrati in tutti i campioni analizzati. Il boxplot (fig. 8) rappresenta quindi esclusivamente i valori superiori al LdQ rilevati nelle suddette stazioni di monitoraggio.

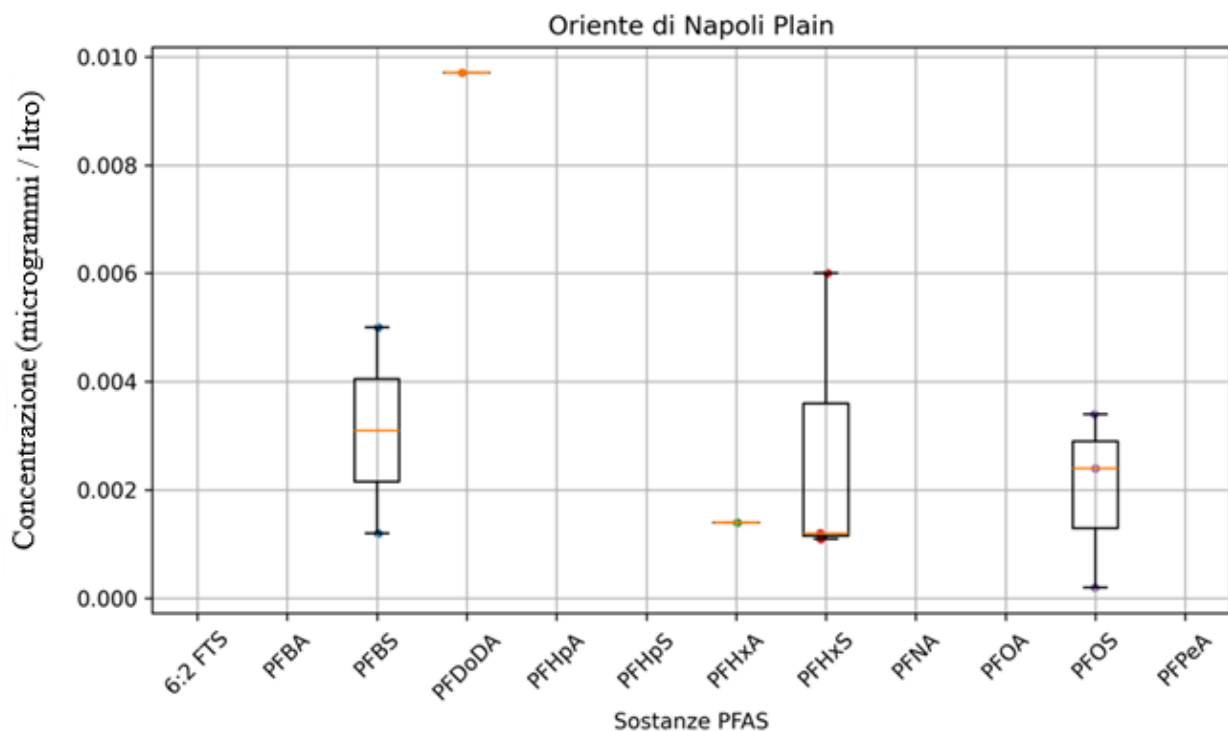


Fig.8 : BoxPlot delle sostanze PFAS che superano gli LdQ nelle Stazioni “Nap9, Nap9a, Nap20 e Nap31” della Piana ad Oriente di Napoli (2018 – 2024). Concentrazioni espresse in microgrammi / litro.



Si osserva la presenza differenti sostanze PFAS con concentrazioni quantificabili e una variabilità moderata tra i campioni. Tra le sostanze rilevate, PFBS mostra una presenza con concentrazioni comprese approssimativamente tra 0.001 e 0.005 microgrammi / litro, e una mediana intorno a 0.003 microgrammi / litro , indicando una distribuzione relativamente ampia nei campioni analizzati. Anche PFHxS presenta una certa variabilità, con valori che possono raggiungere circa 0.006 microgrammi / litro, suggerendo una presenza misurabile di questo composto nel corpo idrico sotterraneo. Un valore relativamente più elevato è osservato per PFDoDA, che mostra una concentrazione prossima a 0.01 microgrammi / litro; tuttavia, la presenza di un numero limitato di osservazioni suggerisce che questo composto sia stato rilevato solo sporadicamente. Concentrazioni intermedie sono invece associate a PFOS, con valori generalmente compresi tra circa 0.001 e 0.003 microgrammi / litro. Altri composti, come PFHxA, presentano concentrazioni più basse e una variabilità ridotta. L'assenza di valori quantificabili per alcuni PFAS in diversi campioni indica che le concentrazioni risultano spesso inferiori al limite di quantificazione analitica. La presenza di diversi composti PFAS nei quattro siti di monitoraggio indica una contaminazione diffusa ma a basse concentrazioni nel corpo idrico sotterraneo della Piana ad Oriente di Napoli. La variabilità osservata tra i composti e tra i campioni potrebbe riflettere la combinazione di differenti sorgenti antropiche e dei processi di trasporto e dispersione all'interno del corpo idrico sotterraneo indagato. Nel complesso, i risultati evidenziano che la contaminazione da PFAS nell'area studiata è eterogenea e caratterizzata da concentrazioni generalmente contenute, con rilevazioni puntuali in tutti i siti monitorati ma non in tutti i campioni raccolti. Questo comportamento potrebbe suggerire che la distribuzione dei PFAS nel corpo idrico possa essere influenzata sia da pressioni antropiche di contaminazione diffuse sia dalle dinamiche idrogeologiche locali, che controllano i processi di mobilità, diluizione e dispersione degli inquinanti nelle acque sotterranee.

### Le sostanze PFAS nel CIS “Somma Vesuvio”

Il boxplot (fig. 9) rappresenta la distribuzione delle concentrazioni di diversi composti appartenenti alla classe dei PFAS rilevati nelle acque sotterranee del corpo idrico Somma Vesuvio. Nell'ambito della presente indagine è stato analizzato un solo sito di monitoraggio (Ves10), sebbene nel corpo idrico siano presenti ulteriori stazioni che non sono state campionate a causa di limitazioni nelle risorse economiche, ma che si prevede di poter campionare in futuro.

Nel sito di monitoraggio Ves10 sono stati osservati superamenti del limite di quantificazione (LdQ) per alcuni PFAS, ma **nessun superamento dei valori soglia (DM 6 luglio 2016)**, mentre in altri campionamenti, effettuati in anni differenti, le concentrazioni sono risultate

inferiori alla soglia analitica di quantificazione. Il boxplot riportato in figura 9 rappresenta pertanto esclusivamente i valori superiori al LdQ rilevati nel sito Ves10.

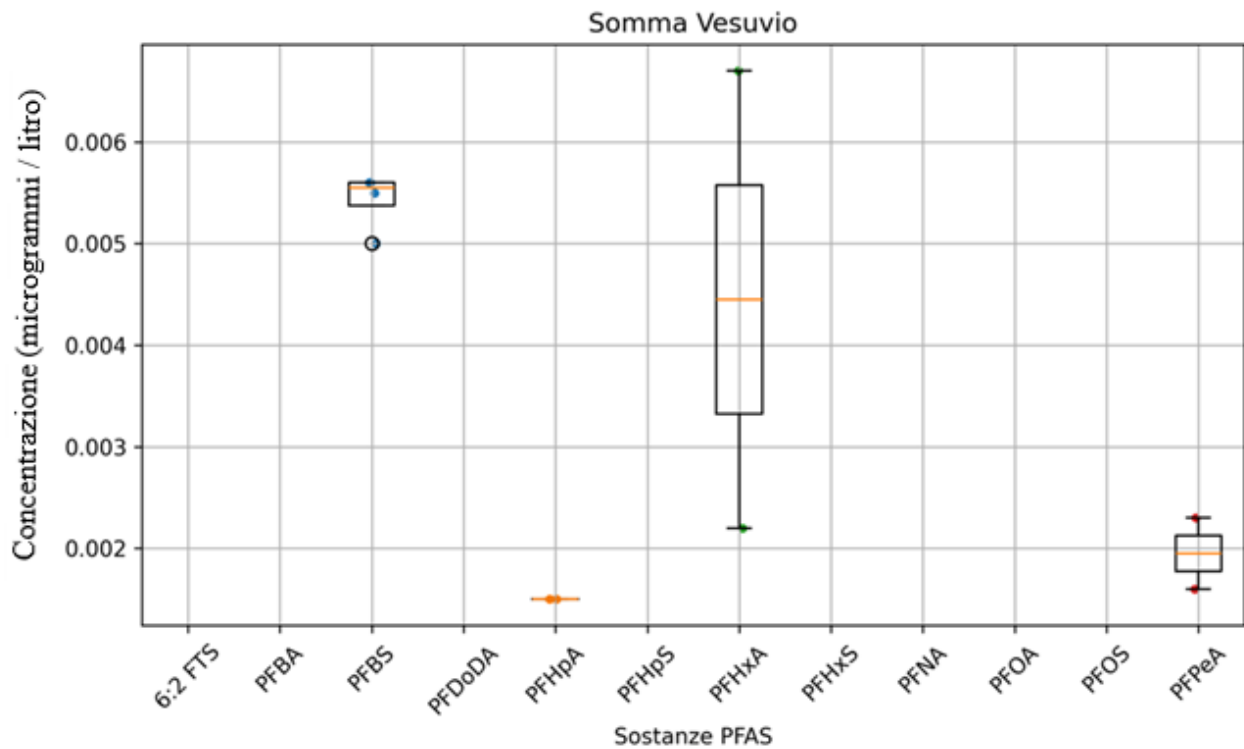


Fig. 9 : BoxPlot delle sostanze PFAS che superano gli LdQ nella stazione “Ves10” del “Somma Vesuvio” (2018 – 2024). Concentrazioni espresse in microgrammi / litro.

L’analisi della distribuzione dei dati evidenzia la presenza di alcuni composti PFAS con concentrazioni quantificabili e una certa variabilità nei valori osservati. In particolare, PFHxA mostra le concentrazioni relativamente più elevate e la maggiore dispersione, con valori compresi approssimativamente tra 0.002 e 0.006–0.007 microgrammi / litro, suggerendo una presenza relativamente significativa di questo composto nelle acque sotterranee del sito di monitoraggio investigato. Valori relativamente elevati si osservano anche per PFBS, con concentrazioni intorno a 0.0050–0.0056 microgrammi / litro, indicando una presenza, ma con una variabilità più limitata rispetto a PFHxA. Concentrazioni più contenute caratterizzano invece PFPeA, generalmente comprese tra circa 0.0016 e 0.0023 microgrammi / litro, suggerendo livelli più bassi di questo composto nella stazione Ves10.

Altri composti, come PFHpA, mostrano concentrazioni quantificabili ma relativamente basse (intorno a 0.0015 microgrammi / litro), mentre per diversi PFAS non sono stati registrati valori superiori al limite di quantificazione nei campioni raccolti.



Dal punto di vista ambientale, la predominanza di PFAS a catena corta o intermedia, quali PFHxA e PFBS, è coerente con la maggiore mobilità di questi composti nei sistemi acquiferi, dovuta alla loro elevata solubilità e alla minore tendenza all'adsorbimento sui materiali geologici. Questa caratteristica favorisce il loro trasporto nelle acque sotterranee e la loro persistenza nei sistemi idrogeologici.

È tuttavia importante sottolineare che le osservazioni disponibili derivano da un singolo punto di monitoraggio, il che limita la possibilità di valutare la distribuzione spaziale della contaminazione all'interno dell'intero corpo idrico sotterraneo Somma-Vesuvio. La presenza di valori sia superiori sia inferiori al LdQ nei diversi anni suggerisce inoltre una variabilità temporale delle concentrazioni che potrebbe anche essere legata ai processi di ricarica del CIS, alla diluizione o alla variabilità delle sorgenti di contaminazione.

Nel complesso, i risultati indicano la presenza di PFAS nelle acque sotterranee del sito Ves10 con concentrazioni generalmente moderate e una distribuzione dominata da composti più mobili, evidenziando la necessità di estendere il monitoraggio ad ulteriori stazioni del corpo idrico per ottenere informazioni più rappresentative della presenza di PFAS alla scala di corpo idrico.

### Le sostanze PFAS nel CIS “Piana Volturmo in Sinistra Idrografica e Regi Lagni”

Sono state valutate mediante BoxPlot (fig. 10) le concentrazioni delle principali sostanze appartenenti alla classe dei PFAS rilevati nelle acque sotterranee della Piana Volturmo in Sinistra Idrografica e Regi Lagni. Nell'ambito della presente indagine sono state considerate due stazioni di monitoraggio, Bvr26 e Bvr27. Tuttavia, solo nella stazione Bvr26 sono stati osservati superamenti del limite di quantificazione (LdQ), ma **nessun superamento dei valori soglia (DM 6 luglio 2016)**, mentre nel sito Bvr27 tutte le concentrazioni misurate sono risultate inferiori alla soglia analitica di quantificazione.

È inoltre importante sottolineare che nel corpo idrico sotterraneo sono presenti ulteriori stazioni di monitoraggio che non sono state incluse nell'indagine a causa di limitazioni nelle risorse disponibili. Il boxplot mostrato in figura riporta pertanto esclusivamente i valori superiori al LdQ osservati nella stazione Bvr26.

L'analisi della distribuzione delle concentrazioni evidenzia una predominanza di alcuni PFAS specifici. In particolare, PFHxA mostra le concentrazioni relativamente più elevate tra i composti rilevati, con valori compresi approssimativamente tra 0.0095 e 0.011 microgrammi / litro, e una mediana intorno a 0.010, indicando una presenza relativamente significativa di questo composto nelle acque sotterranee del sito investigato. La dispersione relativamente

contenuta suggerisce una certa stabilità delle concentrazioni misurate nei diversi campionamenti.

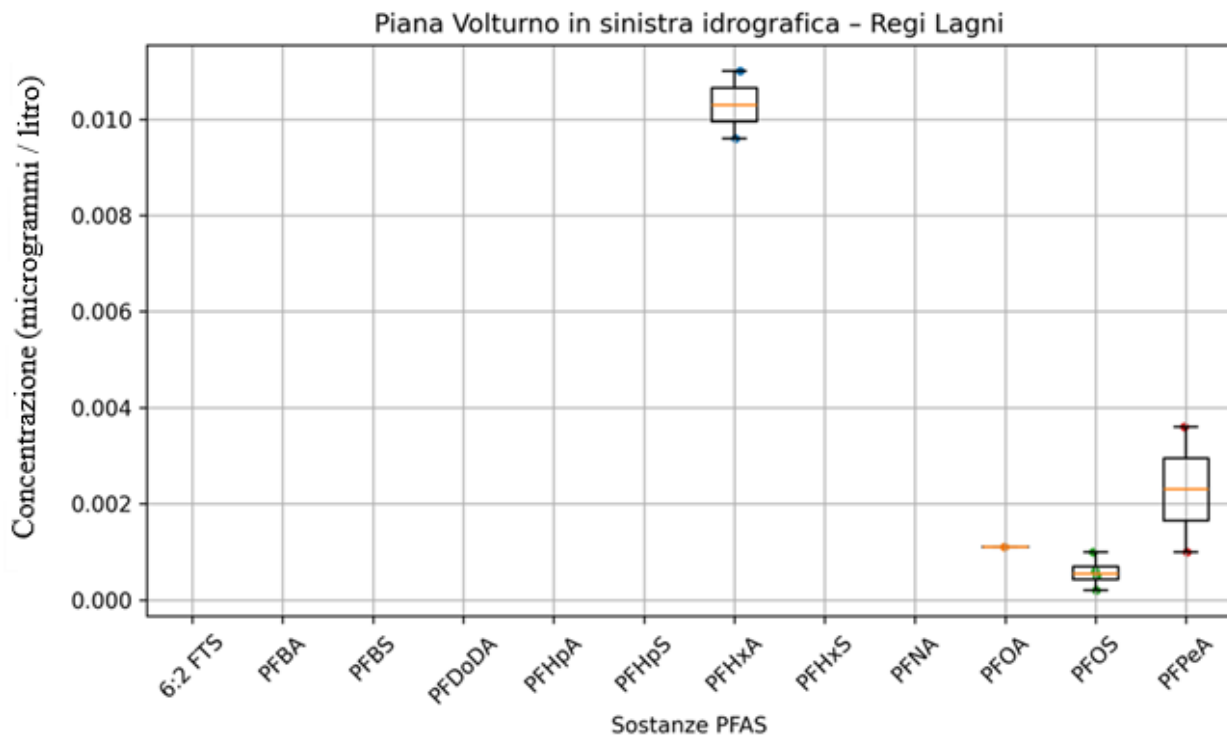


Fig.10 : BoxPlot delle sostanze PFAS che superano gli LdQ nella stazione “Bvr26 e Bvr27” della “Piana del Volturno SX e Regi Lagni” (2018 – 2024). Concentrazioni espresse in microgrammi / litro

Concentrazioni più moderate si osservano per PFPeA, con valori generalmente compresi tra circa 0.001 e 0.0035 microgrammi litro, evidenziando una variabilità più marcata tra i campioni analizzati. PFOA presenta invece concentrazioni relativamente basse e poco variabili, attorno a 0.0011 microgrammi / litro, suggerendo una presenza limitata di questo composto nel corpo idrico sotterraneo.

Valori ancora inferiori caratterizzano PFOS, con concentrazioni generalmente comprese tra circa 0.0002 e 0.001 microgrammi / litro, indicando una presenza marginale rispetto agli altri composti osservati.

Dal punto di vista ambientale, la predominanza di PFAS a catena corta, come PFHxA e PFPeA, è coerente con le proprietà chimico-fisiche di tali composti, che presentano elevata solubilità e ridotta affinità per le fasi solide del mezzo poroso. Queste caratteristiche favoriscono la loro mobilità nelle acque sotterranee e il loro trasporto all’interno dei sistemi acquiferi alluvionali.



La presenza di concentrazioni quantificabili esclusivamente nel sito Bvr26 suggerisce una distribuzione spaziale localizzata della contaminazione, potenzialmente legata alla prossimità di sorgenti antropiche o a specifiche condizioni idrogeologiche locali che favoriscono il trasporto. Nel complesso, i risultati indicano che la contaminazione da PFAS nell'area della Piana del Volturno in Sinistra Idrografica e Regi Lagni) è limitata e caratterizzata dalla predominanza di composti a maggiore mobilità, con evidenze di concentrazioni quantificabili solo in uno dei siti investigati. Considerata la limitata copertura spaziale del monitoraggio, ulteriori indagini su un numero maggiore di stazioni potrebbero consentire una valutazione più rappresentativa della distribuzione dei PFAS all'interno dell'intero corpo idrico sotterraneo.

### Le sostanze PFAS nel CIS “ Sarna Plain”

Sono state valutate mediante BoxPlot (fig. 11) le concentrazioni delle principali sostanze appartenenti alla classe dei PFAS rilevati nelle acque sotterranee della Sarna Plain. Nell'ambito della presente indagine è stato analizzato un solo sito di monitoraggio (Sar8), sebbene nel corpo idrico sotterraneo siano presenti ulteriori stazioni di monitoraggio chimico che non sono state campionate PFAS a causa di limitazioni nelle risorse disponibili.

Nel sito Sar8 sono stati osservati superamenti del limite di quantificazione (LdQ) per alcuni PFAS, ma **nessun superamento dei valori soglia (DM 6 luglio 2016)**, mentre in altri campionamenti effettuati nel corso degli anni le concentrazioni sono risultate inferiori alla soglia analitica di quantificazione. Il boxplot riportato in figura 11 rappresenta pertanto esclusivamente i valori superiori al LdQ rilevati nella stazione di monitoraggio Sar8.

L'analisi della distribuzione dei dati evidenzia la presenza di due composti principali con concentrazioni quantificabili, ovvero PFBS e PFOS. Tra questi, PFBS mostra le concentrazioni relativamente più elevate, con valori compresi approssimativamente tra 0.005 e 0.007 microgrammi / litro, e una mediana intorno a 0.0060–0.0065 microgrammi / litro. L'ampiezza dell'intervallo interquartile suggerisce una certa variabilità nei valori osservati, che potrebbe essere spiegata da variazioni temporali nelle condizioni di ricarica o nelle possibili sorgenti di contaminazione. PFOS presenta invece concentrazioni più contenute, generalmente comprese tra circa 0.0013 e 0.0023 microgrammi / litro, indicando livelli inferiori rispetto a PFBS ma comunque rilevabili (misurabili) nei campioni analizzati. La dispersione relativamente limitata dei valori suggerisce una variabilità moderata tra i diversi campionamenti.

La presenza contemporanea di specie a catena corta come PFBS e di specie a catena lunga come PFOS può riflettere contributi provenienti da diverse sorgenti o da differenti periodi di

utilizzo industriale. I PFAS a catena corta sono generalmente caratterizzati da maggiore mobilità nelle acque sotterranee, mentre i composti a catena più lunga tendono a essere più persistenti nell'ambiente.

È tuttavia importante evidenziare che le informazioni disponibili derivano da un unico sito di monitoraggio, il che limita la possibilità di valutare la distribuzione spaziale della contaminazione all'interno dell'intero corpo idrico sotterraneo della Sarno Plain. Inoltre, la presenza di concentrazioni sia superiori sia inferiori al LdQ nei diversi campionamenti suggerisce una variabilità temporale delle concentrazioni, potenzialmente associata ai processi di ricarica dell'acquifero, alla diluizione o alla variabilità delle pressioni antropiche.

Nel complesso, i risultati indicano che la presenza di PFAS nelle acque sotterranee della Sarno Plain è limitata a pochi composti e a concentrazioni generalmente moderate, con evidenze di valori quantificabili solo nel sito Sar8. Ciò evidenzia l'importanza di estendere il monitoraggio ad ulteriori stazioni del corpo idrico sotterraneo al fine di ottenere una valutazione più rappresentativa della distribuzione dei PFAS all'interno del corpo idrico indagato.

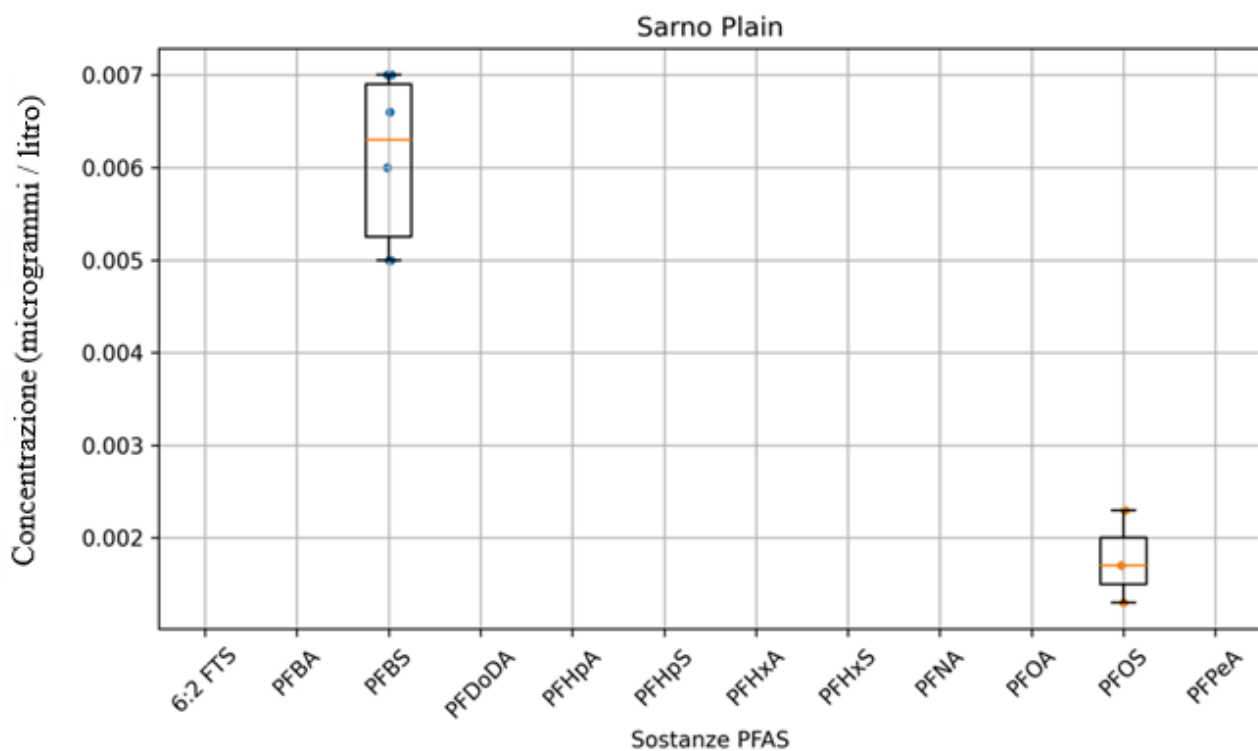


Fig.11 : BoxPlot delle sostanze PFAS che superano gli LdQ nella stazione "Sar8" della Sarno Plain" (2018 – 2024). Concentrazioni espresse in microgrammi / litro



## Le sostanze PFAS nel CIS “ Isclero Plain”

Sono state valutate mediante BoxPlot (fig.12) le concentrazioni delle principali sostanze appartenenti alla classe dei PFAS rilevati nelle acque sotterranee della Isclero Plain. Nell’ambito della presente indagine è stato analizzato un solo sito di monitoraggio (Isc5), sebbene nel corpo idrico sotterraneo siano presenti ulteriori stazioni che non sono state campionate a causa di limitazioni nelle risorse disponibili.

Nel sito di monitoraggio Isc5 sono stati osservati superamenti del limite di quantificazione (LdQ) per alcuni PFAS, ma **nessun superamento dei valori soglia (DM 6 luglio 2016)**, mentre in altri campionamenti effettuati nel corso degli anni le concentrazioni sono risultate inferiori alla soglia analitica di quantificazione. Il boxplot riportato in figura 12 rappresenta pertanto esclusivamente i valori superiori al LdQ rilevati nella stazione di monitoraggio Isc5. L’analisi della distribuzione delle concentrazioni evidenzia la presenza di alcuni composti PFAS con valori quantificabili e una variabilità moderata tra i campioni analizzati. In particolare, PFPeA mostra le concentrazioni relativamente più elevate tra i composti rilevati, con valori compresi approssimativamente tra 0.0018 e 0.0042 microgrammi / litro e una mediana intorno a 0.003 microgrammi / litro, indicando una presenza relativamente significativa di questo composto nelle acque sotterranee del sito investigato. L’ampiezza dell’intervallo interquartile suggerisce una certa variabilità temporale delle concentrazioni osservate.

Concentrazioni intermedie si osservano per PFHxA, con valori generalmente compresi tra circa 0.0011 e 0.0023 microgrammi / litro, evidenziando una distribuzione relativamente ampia nei diversi campionamenti. La dispersione dei dati suggerisce possibili variazioni nel tempo legate ai processi di ricarica del corpo idrico o alla variabilità delle pressioni antropiche. Al contrario, PFOS mostra concentrazioni molto più basse e una variabilità limitata, con valori intorno a 0.0004 microgrammi / litro, indicando una presenza marginale rispetto agli altri composti osservati.

La predominanza di PFAS a catena corta, come PFPeA e PFHxA, è coerente con le proprietà chimico-fisiche di tali composti, caratterizzati da elevata solubilità e minore affinità per le fasi solide del mezzo poroso. Queste caratteristiche favoriscono la loro mobilità e il loro trasporto nelle acque sotterranee. È tuttavia importante sottolineare che le osservazioni disponibili derivano da un singolo punto di monitoraggio, il che limita la possibilità di valutare la distribuzione spaziale dei PFAS all’interno dell’intero corpo idrico sotterraneo della Isclero Plain. Inoltre, la presenza di concentrazioni sia superiori sia inferiori al LdQ nei diversi campionamenti potrebbe suggerire una variabilità temporale delle concentrazioni, potenzialmente associata ai processi di ricarica del CIS, ai fenomeni di diluizione o alla variabilità delle possibili sorgenti di pressione antropica.

Nel complesso, i risultati indicano la presenza di PFAS nelle acque sotterranee del sito Isc5 con concentrazioni generalmente contenute e dominate da composti a maggiore mobilità, evidenziando la necessità di estendere il monitoraggio ad ulteriori stazioni del corpo idrico sotterraneo per ottenere una caratterizzazione più rappresentativa della distribuzione dei PFAS all'interno del CIS.

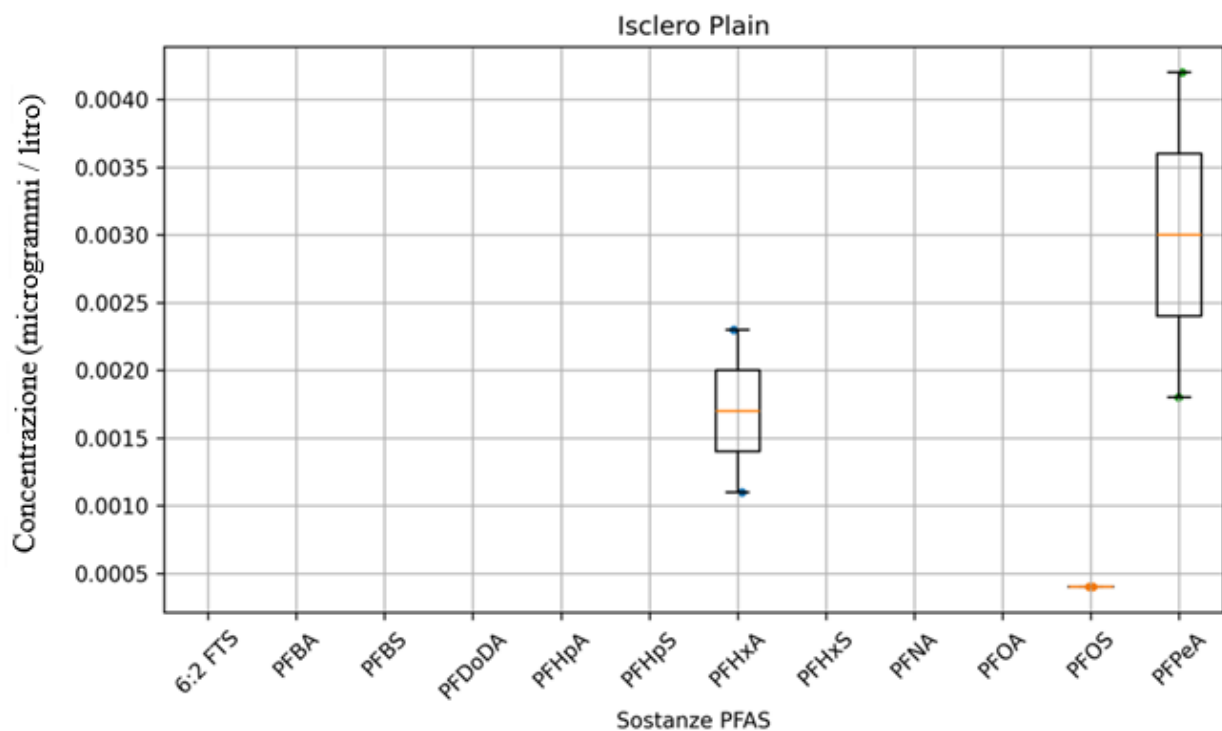


Fig.12 : BoxPlot delle sostanze PFAS che superano gli LdQ nella stazione “Isc5” dell’ “ Isclero Plain” (2018 – 2024). Concentrazioni espresse in microgrammi / litro

### Le sostanze PFAS nel CIS “ Maddalena Mountains”

Sono state valutate mediante BoxPlot (fig. 13) le concentrazioni delle principali sostanze appartenenti alla classe dei PFAS rilevati nelle acque sotterranee del Maddalena Mountains. Nell’ambito della presente indagine è stato analizzato un solo sito di monitoraggio (Mad1), sebbene nel corpo idrico sotterraneo siano presenti ulteriori stazioni di monitoraggio che non sono state campionate a causa di limitazioni nelle risorse disponibili. Nel sito di campionamento Mad1 sono stati osservati superamenti del limite di quantificazione (LdQ) per alcuni PFAS, ma **nessun superamento dei valori soglia (DM 6 luglio 2016)**, mentre in altri campionamenti effettuati nel corso degli anni le concentrazioni sono risultate inferiori alla soglia analitica di quantificazione. Il boxplot mostrato in figura 13 rappresenta pertanto

esclusivamente i valori superiori al LdQ registrati nella stazione di monitoraggio Mad1.

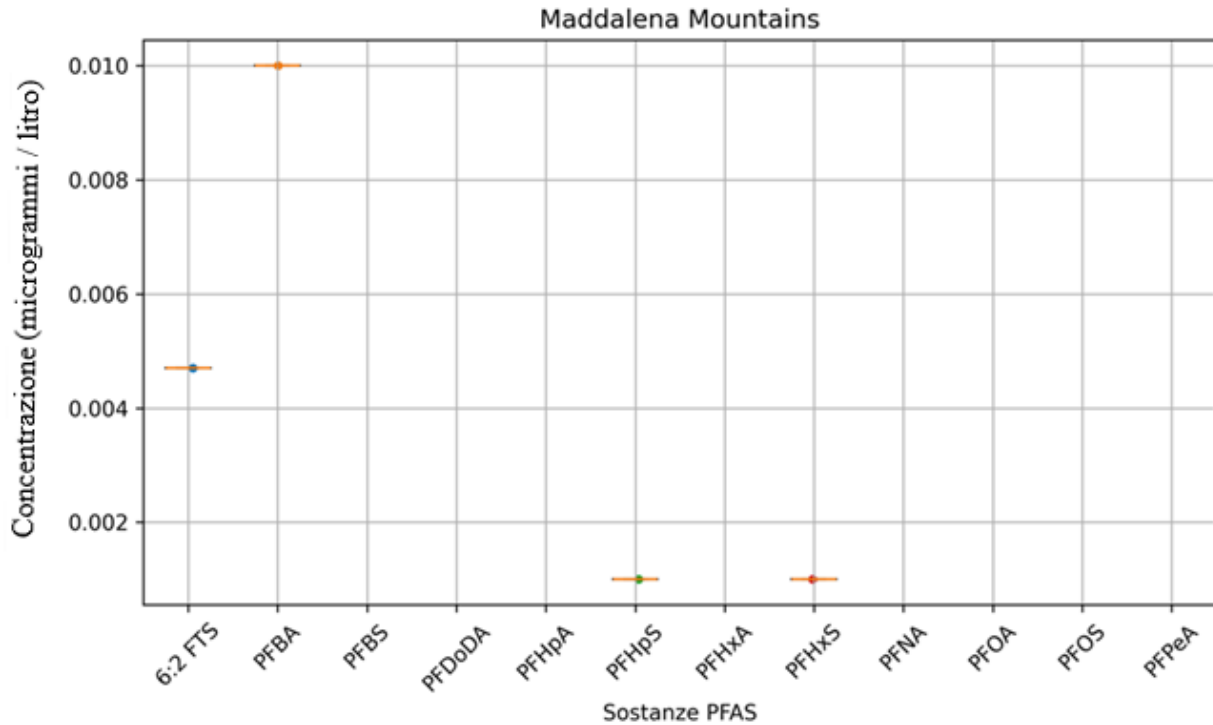


Fig.13 : BoxPlot delle sostanze PFAS che superano gli LdQ nella stazione “Mad1” del “Maddalena Mountains” (2018 – 2024). Concentrazioni espresse in microgrammi / litro

L’analisi della distribuzione delle concentrazioni evidenzia la presenza di alcuni composti PFAS con valori quantificabili. In particolare, PFBA mostra le concentrazioni più elevate tra i composti rilevati, con valori intorno a 0.010 microgrammi / litro, suggerendo una presenza relativamente significativa di questo composto nelle acque sotterranee del sito investigato. Valori relativamente elevati si osservano anche per 6:2 FTS, con concentrazioni prossime a 0.0047 microgrammi / litro. Concentrazioni significativamente più basse caratterizzano invece PFHpS e PFHxS, con valori prossimi a 0.001microgrammi / litro, suggerendo una presenza più limitata di questi composti nella stazione monitorata. La predominanza di PFAS a catena corta, come PFBA, è coerente con le proprietà di maggiore mobilità e solubilità di tali composti nei sistemi idrogeologici. Queste caratteristiche favoriscono il loro trasporto nelle acque sotterranee, in particolare nei contesti idrogeologici caratterizzati da elevata permeabilità. È tuttavia importante sottolineare che le osservazioni disponibili derivano da un singolo punto di monitoraggio, il che limita la possibilità di valutare la distribuzione spaziale della contaminazione all’interno dell’intero corpo idrico sotterraneo “Maddalena Mountains”. Inoltre, la presenza di concentrazioni sia superiori sia inferiori al LdQ nei diversi

campionamenti suggerisce una variabilità temporale delle concentrazioni, potenzialmente associata ai processi di ricarica dell'acquifero, ai fenomeni di diluizione o alla variabilità delle possibili sorgenti di contaminazione. Nel complesso, i risultati indicano la presenza di PFAS nelle acque sotterranee del sito Mad1 con concentrazioni generalmente contenute e una distribuzione dominata da composti a catena corta, evidenziando la necessità di estendere il monitoraggio ad ulteriori stazioni del corpo idrico sotterraneo al fine di ottenere una caratterizzazione più completa e rappresentativa della distribuzione dei PFAS all'interno del CIS.

### Le sostanze PFAS nel CIS “ Sele Plain”

Sono state valutate mediante BoxPlot (fig. 14) le concentrazioni delle principali sostanze appartenenti alla classe dei PFAS rilevati nelle acque sotterranee della Sele Plain. Nell'ambito della presente indagine è stato analizzato un solo sito di monitoraggio (Sel3), sebbene nel corpo idrico sotterraneo siano presenti ulteriori stazioni che non sono state campionate a causa di limitazioni nelle risorse disponibili.

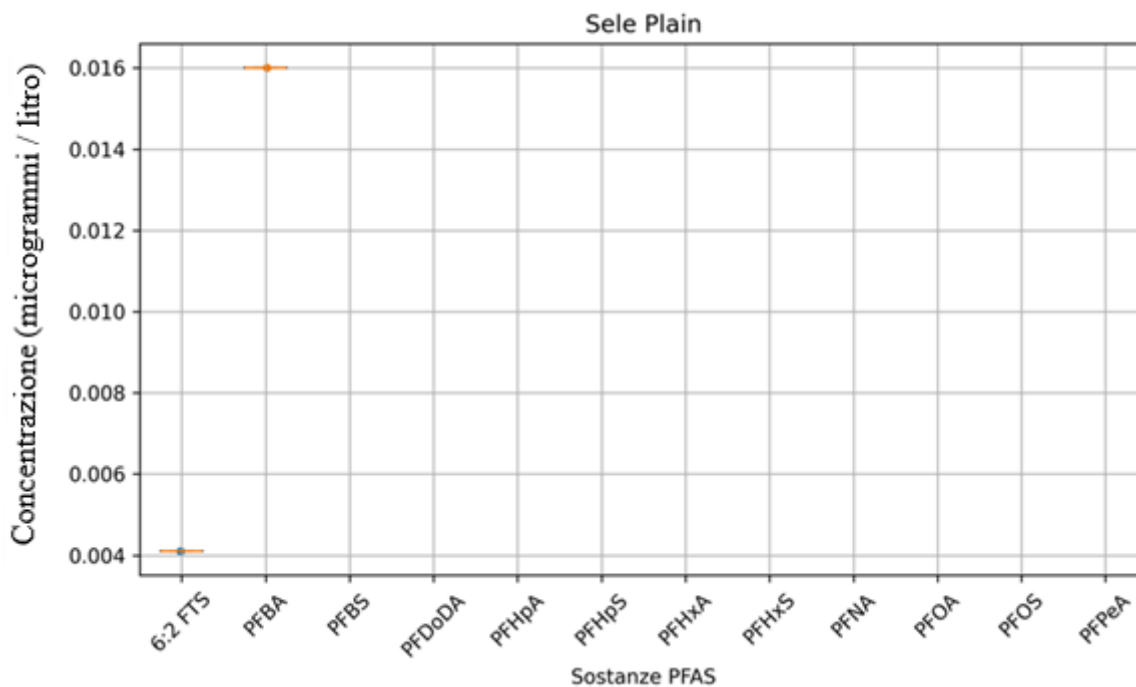


Fig.14 : BoxPlot delle sostanze PFAS che superano gli LdQ nella stazione “Sel3” della “Sele Plain” (2018 – 2024). Concentrazioni espresse in microgrammi / litro

Nel sito Sel3 sono stati osservati superamenti del limite di quantificazione (LdQ) per alcuni PFAS ma **nessun superamento dei valori soglia (DM 6 luglio 2016)**, mentre in altri campionamenti effettuati nel corso degli anni le concentrazioni sono risultate inferiori alla



soglia analitica di quantificazione. Il boxplot riportato in figura 14 rappresenta pertanto esclusivamente i valori superiori al LdQ rilevati nella stazione di monitoraggio Sel3.

L'analisi della distribuzione dei dati evidenzia la presenza di due composti principali con concentrazioni quantificabili, ovvero PFBA e 6:2 FTS. Tra questi, PFBA mostra le concentrazioni relativamente più elevate, con valori intorno a 0.016 microgrammi / litro, indicando una presenza relativamente significativa di questo composto nelle acque sotterranee del sito investigato. Il valore osservato suggerisce la presenza di PFAS a catena corta, noti per la loro elevata mobilità nei sistemi idrogeologici.

Il composto 6:2 FTS presenta invece concentrazioni inferiori, prossime a 0.004 microgrammi / litro, ma comunque chiaramente quantificabili nei campioni analizzati.

La predominanza di PFAS a catena corta è coerente con la maggiore mobilità e solubilità di tali composti nelle acque sotterranee, caratteristiche che ne favoriscono il trasporto all'interno degli acquiferi alluvionali. È tuttavia importante evidenziare che le osservazioni disponibili derivano da un unico sito di monitoraggio, il che limita la possibilità di valutare la distribuzione spaziale della eventuale presenza di PFAS all'interno dell'intero corpo idrico sotterraneo della Sele Plain. Inoltre, la presenza di concentrazioni sia superiori sia inferiori al LdQ nei diversi campionamenti suggerisce una variabilità temporale delle concentrazioni, potenzialmente associata ai processi di ricarica dell'acquifero, alla diluizione o alla variabilità delle possibili sorgenti di pressione antropica.

Nel complesso, i risultati indicano la presenza di PFAS nelle acque sotterranee del sito Sel3 con concentrazioni generalmente contenute e dominate da composti a maggiore mobilità, evidenziando la necessità di estendere il monitoraggio ad ulteriori stazioni del corpo idrico sotterraneo per ottenere una caratterizzazione più rappresentativa della distribuzione dei PFAS all'interno del CIS.

### **Le sostanze PFAS nel CIS “ Ufita Plain”**

Sono state valutate mediante BoxPlot (fig.15) le concentrazioni delle principali sostanze appartenenti alla classe dei PFAS rilevati nelle acque sotterranee della Ufita Plain. Nell'ambito della presente indagine è stato analizzato un solo sito di monitoraggio (Gro4), sebbene nel corpo idrico sotterraneo siano presenti ulteriori stazioni di monitoraggio che non sono state campionate a causa di limitazioni nelle risorse disponibili.

Nel sito Gro4 sono stati osservati superamenti del limite di quantificazione (LdQ) per alcuni PFAS, ma **nessun superamento dei valori soglia (DM 6 luglio 2016)**, mentre in altri campionamenti effettuati nel corso degli anni le concentrazioni sono risultate inferiori alla

soglia analitica di quantificazione. Il boxplot riportato in figura 15 rappresenta pertanto esclusivamente i valori superiori al LdQ rilevati nella stazione di monitoraggio Gro4.

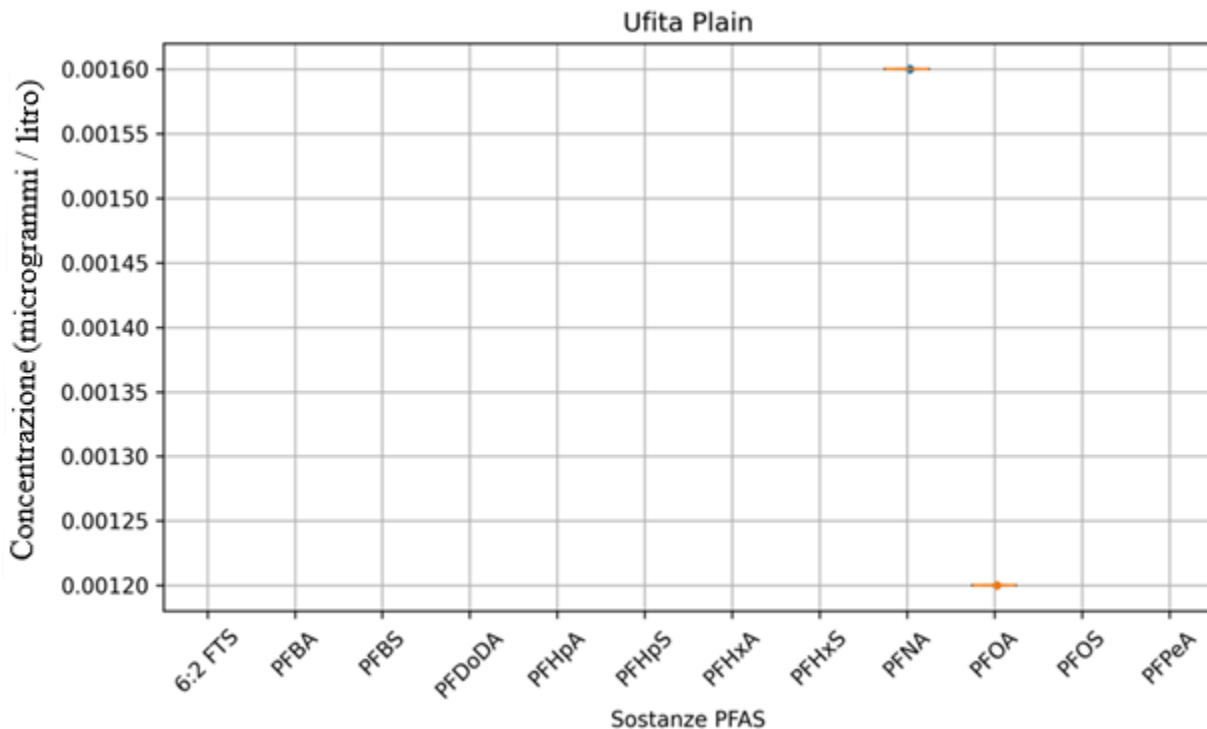


Fig.15 : BoxPlot delle sostanze PFAS che superano gli LdQ nella stazione “Gro4” della “Ufita Plain” (2018 – 2024). Concentrazioni espresse in microgrammi / litro

L’analisi dei dati evidenzia la presenza di due composti PFAS con concentrazioni quantificabili, ovvero PFNA e PFOA. Tra questi, PFNA mostra il valore più elevato, con una concentrazione prossima a 0.0016 microgrammi / litro, mentre PFOA presenta una concentrazione leggermente inferiore, pari a circa 0.0012 microgrammi / litro. La limitata o assente dispersione dei valori osservati suggerisce che tali composti siano stati rilevati solo in un numero ristretto di campionamenti. Le sostanze PFNA e PFOA appartengono alla categoria dei PFAS a catena lunga, composti caratterizzati da elevata stabilità chimica e persistenza ambientale. La loro presenza nelle acque sotterranee può essere associata a sorgenti antropiche spesso legate a attività industriali o all’uso storico di materiali contenenti PFAS. È tuttavia importante sottolineare che le osservazioni disponibili derivano da un singolo punto di monitoraggio, il che limita la possibilità di valutare la distribuzione spaziale della contaminazione all’interno dell’intero corpo idrico sotterraneo della Ufita Plain. Inoltre, la presenza di concentrazioni sia superiori sia inferiori al LdQ nei diversi campionamenti suggerisce una variabilità temporale delle concentrazioni, potenzialmente associata ai processi

di ricarica del corpo idrico, ai fenomeni di diluizione o alla variabilità delle possibili sorgenti di pressione antropica. Nel complesso, i risultati indicano la presenza di PFAS nelle acque sotterranee del sito Gro4 con concentrazioni generalmente basse e limitate a pochi composti, evidenziando tuttavia la necessità di estendere il monitoraggio ad ulteriori stazioni del corpo idrico sotterraneo al fine di ottenere una caratterizzazione più completa e rappresentativa della distribuzione dei PFAS all'interno del CIS.

### Le sostanze PFAS nel CIS “ Complesso Tufaceo Basso Volturno”

Sono state valutate mediante BoxPlot (fig. 16) le concentrazioni delle principali sostanze appartenenti alla classe dei PFAS rilevati nelle acque sotterranee del Complesso Tufaceo Basso Volturno. Nell'ambito della presente indagine è stato analizzato un solo sito di monitoraggio (C-TUFBV2), sebbene nel corpo idrico sotterraneo siano presenti ulteriori stazioni di monitoraggio che non sono state campionate a causa di limitazioni nelle risorse disponibili.

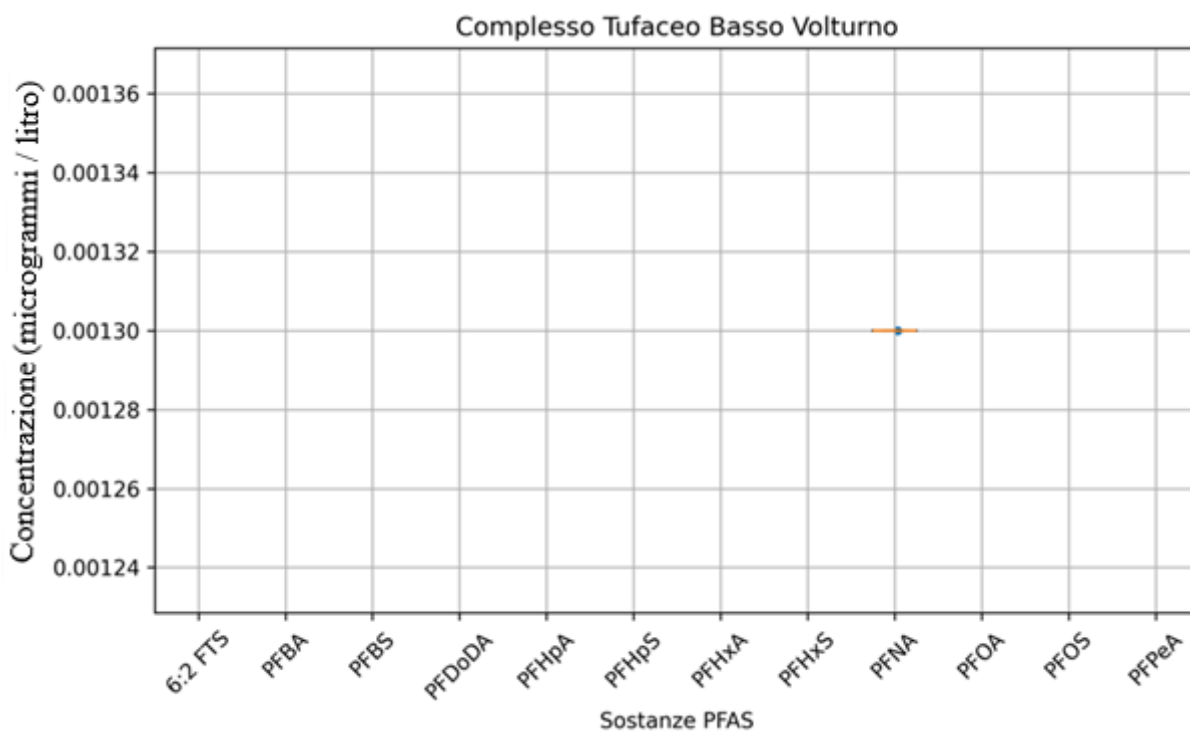


Fig.16 : BoxPlot delle sostanze PFAS che superano gli LdQ nella stazione “C-TUFBV2” del “Complesso Tufaceo Basso Volturno” (2018 – 2024). Concentrazioni espresse in microgrammi / litro

Nel sito C-TUFBV2 sono stati osservati superamenti del limite di quantificazione (LdQ) per alcuni PFAS, ma **nessun superamento dei valori soglia (DM 6 luglio 2016)**, mentre in altri campionamenti effettuati nel corso degli anni le concentrazioni sono risultate inferiori alla



soglia analitica di quantificazione. Il boxplot riportato in figura 16 rappresenta pertanto esclusivamente i valori superiori al LdQ rilevati nella stazione di monitoraggio C-TUFBV2. L'analisi dei dati evidenzia la presenza di un solo composto PFAS con concentrazione quantificabile, ovvero PFNA, con un valore pari a circa 0.0013 microgrammi / litro. La presenza di un unico valore indica che il composto è stato rilevato una tantum nei campioni analizzati, mentre negli altri campionamenti le concentrazioni risultavano inferiori al limite di quantificazione.

La sostanza PFNA appartiene alla classe dei PFAS a catena lunga, composti noti per la loro elevata stabilità chimica e persistenza ambientale. La loro presenza nelle acque sotterranee può essere associata a pressioni antropiche spesso connesse all'utilizzo storico di materiali o prodotti contenenti PFAS.

È tuttavia importante sottolineare che le informazioni disponibili derivano da un unico punto di monitoraggio, il che limita la possibilità di valutare la distribuzione spaziale della contaminazione all'interno dell'intero corpo idrico sotterraneo del Complesso Tufaceo Basso Volturmo. Inoltre, la presenza di concentrazioni sia superiori sia inferiori al LdQ nei diversi campionamenti suggerisce una variabilità temporale delle concentrazioni, potenzialmente legata ai processi di ricarica del CIS, ai fenomeni di diluizione o alla variabilità delle possibili sorgenti di pressione antropica.

Nel complesso, i risultati indicano che la presenza di PFAS nel sito di campionamento C-TUFBV2 è limitata e caratterizzata da concentrazioni molto basse, con evidenza di valori quantificabili solo per un composto e in un numero ristretto di campionamenti. Ciò evidenzia la necessità di estendere il monitoraggio ad ulteriori stazioni di monitoraggio del corpo idrico sotterraneo per ottenere una valutazione più completa e rappresentativa della distribuzione dei PFAS all'interno del CIS.

### **Analisi delle tendenze evolutive dei PFAS nei Corpi Idrici sotterranei indagati**

Si è proceduto ad analizzare le tendenze evolutive temporali delle concentrazioni delle sostanze PFAS per i soli corpi idrici sotterranei, e per le sole sostanze specifiche, laddove i dati analitici hanno consentito un approccio statistico. Si è proceduto dunque all'analisi delle tendenze a mezzo regressione lineare piuttosto che con il metodo non parametrico di MANN KENDALL poiché in quest'ultimo caso non venivano soddisfatte in tutto o in parte le ipotesi di applicazione del metodo stesso. Ci si è quindi concentrati sui seguenti corpi idrici sotterranei: Solofra Plain, Somma Vesuvio, Piana del Volturmo in Sinistra Idrografica e Regi Lagni.



L'analisi dei trend temporali dei PFAS in tutti i corpi idrici analizzati mostra innanzitutto che **tutte le concentrazioni osservate risultano ampiamente inferiori ai limiti normativi del DM 6 luglio 2016, per i composti regolamentati. Per i restanti composti PFAS non si dispone dei limiti di legge in relazione al monitoraggio ambientale dei corpi idrici sotterranei.**

#### Andamento temporale dei PFAS nella Solofra Plain

Relativamente al PFBS, il grafico (fig. 17) mostra l'andamento temporale delle concentrazioni di PFBS nelle acque sotterranee della Solofra Plain nel periodo 2018–2024. L'analisi di regressione lineare evidenzia una tendenza crescente delle concentrazioni nel tempo, con un coefficiente di determinazione  $R^2 = 0.7031$ , indicativo di una relazione significativa tra concentrazione e tempo. Il valore di  $p = 0.0186$  indica che la tendenza osservata è statisticamente significativa ( $p < 0.05$ ). Le concentrazioni variano approssimativamente tra 0.005 e 0.012  $\mu\text{g/L}$ , con valori più elevati osservati negli ultimi anni del periodo analizzato. Sebbene PFBS non sia regolamentato direttamente dal DM 6 luglio 2016, si osserva una tendenza all'aumento, comunque ben lontana dal far scaturire il corpo idrico sotterraneo in stato scarso entro fine sessennio. Relativamente al PFHxS, detto composto mostra (fig. 18) anch'esso una tendenza positiva nel tempo, con una regressione lineare caratterizzata da:  $R^2 = 0.443$ ,  $p = 0.445$ . Il valore di  $p$  indica che la tendenza non è statisticamente significativa, probabilmente a causa del numero limitato di osservazioni ( $n = 6$ ) e della variabilità dei dati. Le concentrazioni osservate sono comprese tra circa 0.006 e 0.011  $\mu\text{g/L}$ , con una dispersione moderata. Anche in questo caso il composto non è soggetto a un limite specifico nel DM 2016, ma i valori rilevati restano comunque molto inferiori ai limiti complessivi per PFAS. Relativamente al PFOS, il grafico (fig. 19) relativo al PFOS evidenzia concentrazioni molto basse, comprese tra circa 0.0003 e 0.001  $\mu\text{g/L}$ . L'analisi di regressione mostra che nonostante l'elevato  $R^2$ , il valore di  $p$  indica che la tendenza non è statisticamente significativa, principalmente a causa del numero molto ridotto di osservazioni. Dal punto di vista normativo, il limite stabilito dal DM 6 luglio 2016 per PFOS è pari a 0.03  $\mu\text{g/L}$ . Le concentrazioni osservate risultano quindi di oltre un ordine di grandezza inferiori al limite normativo, indicando **assenza di criticità** dal punto di vista della conformità legislativa.

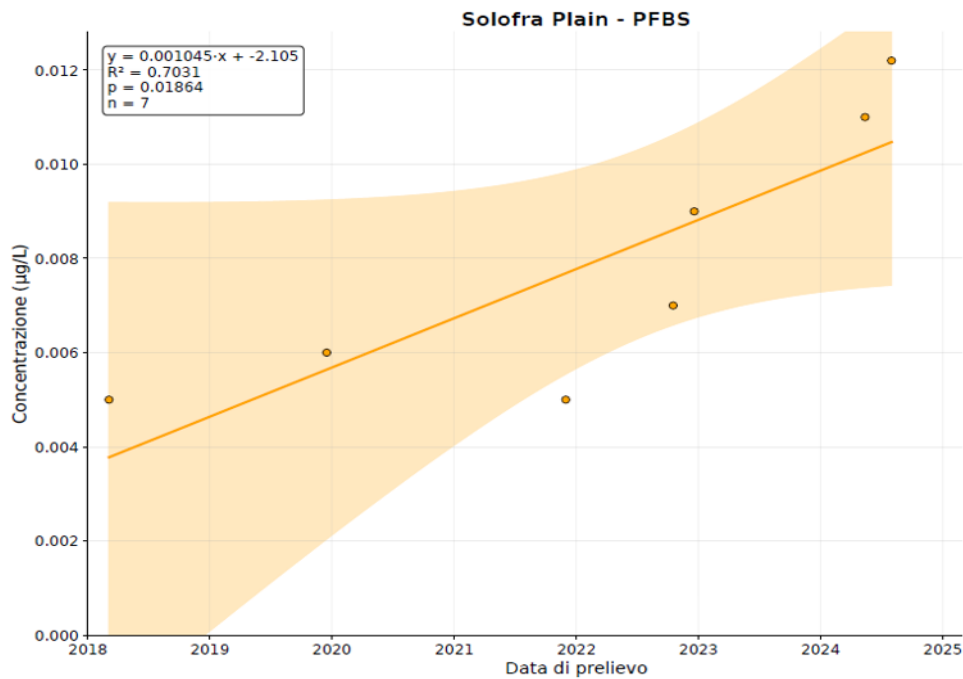


Fig.17 : Tendenza evolutiva delle concentrazioni di PFBS nel CIS: Piana di Solofra

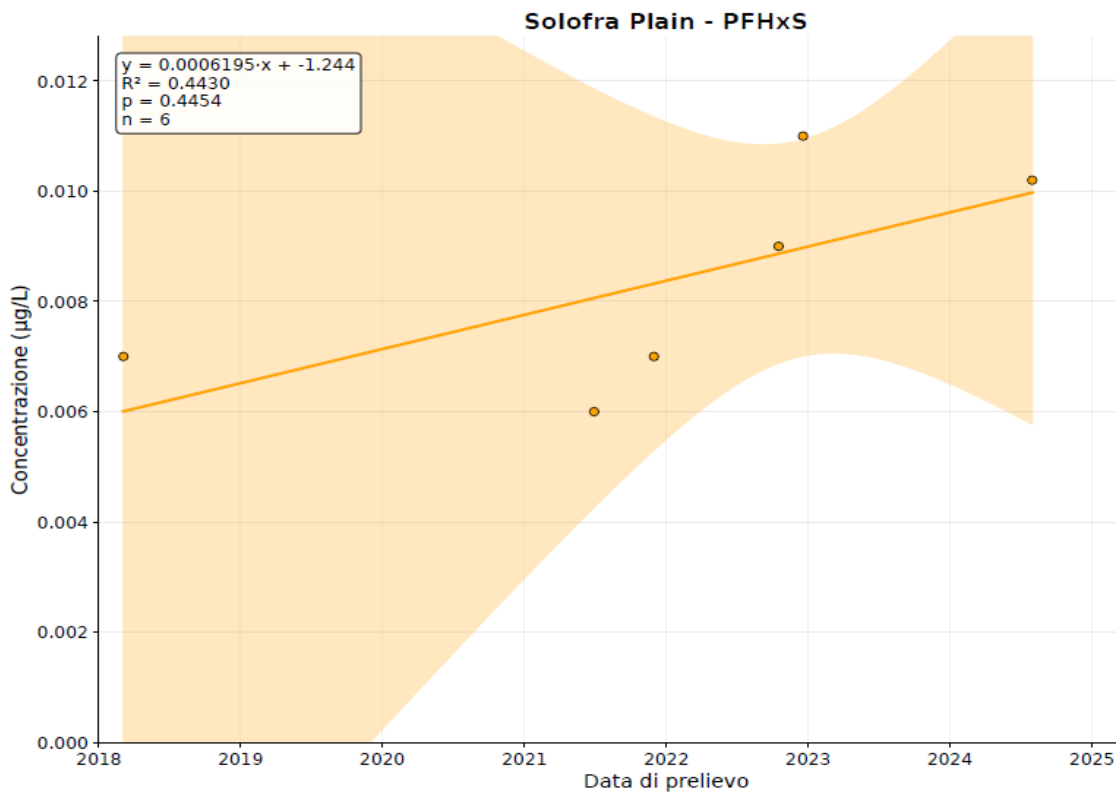


Fig.18 : Tendenza evolutiva delle concentrazioni di PFHxS nel CIS: Solofra Plain

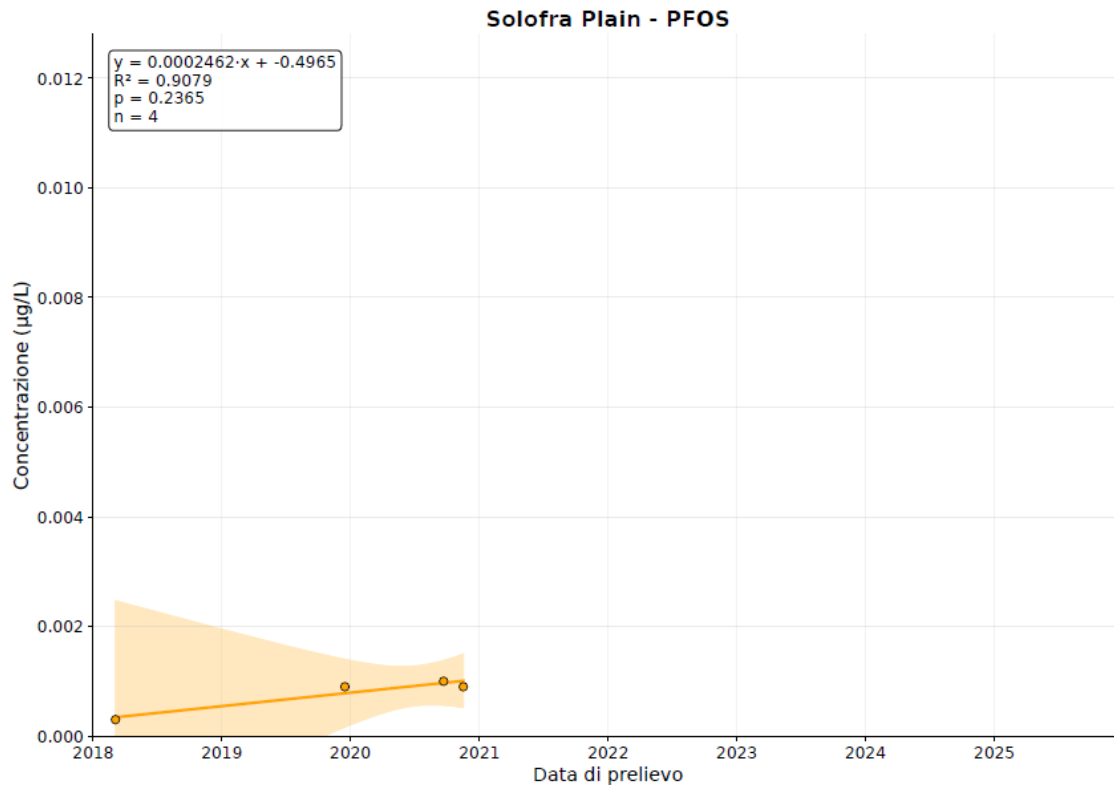


Fig.19 : Tendenza evolutiva delle concentrazioni di PFOS nel CIS: Solofra Plain

### Andamento temporale dei PFAS nel “Somma Vesuvio”

Viene mostrato l’andamento delle concentrazioni di PFBS (fig. 20) nelle acque sotterranee del Corpo Idrico Somma-Vesuvio nel periodo 2018–2021. E’ presente una lieve tendenza crescente evidenziata dalla regressione lineare ( $R^2 = 0.8722$ ). Tuttavia, il valore di  $p = 0.1784$  indica che tale tendenza non è statisticamente significativa, anche a causa del numero limitato di osservazioni ( $n = 4$ ).

Dal punto di vista normativo, il DM 6 luglio 2016 non prevede un limite specifico per PFBS. Le concentrazioni misurate risultano comunque ampiamente inferiori ai limiti stabiliti per i PFAS regolamentati, indicando l’assenza di criticità dal punto di vista della conformità normativa. Nel complesso, i dati evidenziano livelli bassi e relativamente stabili di PFBS

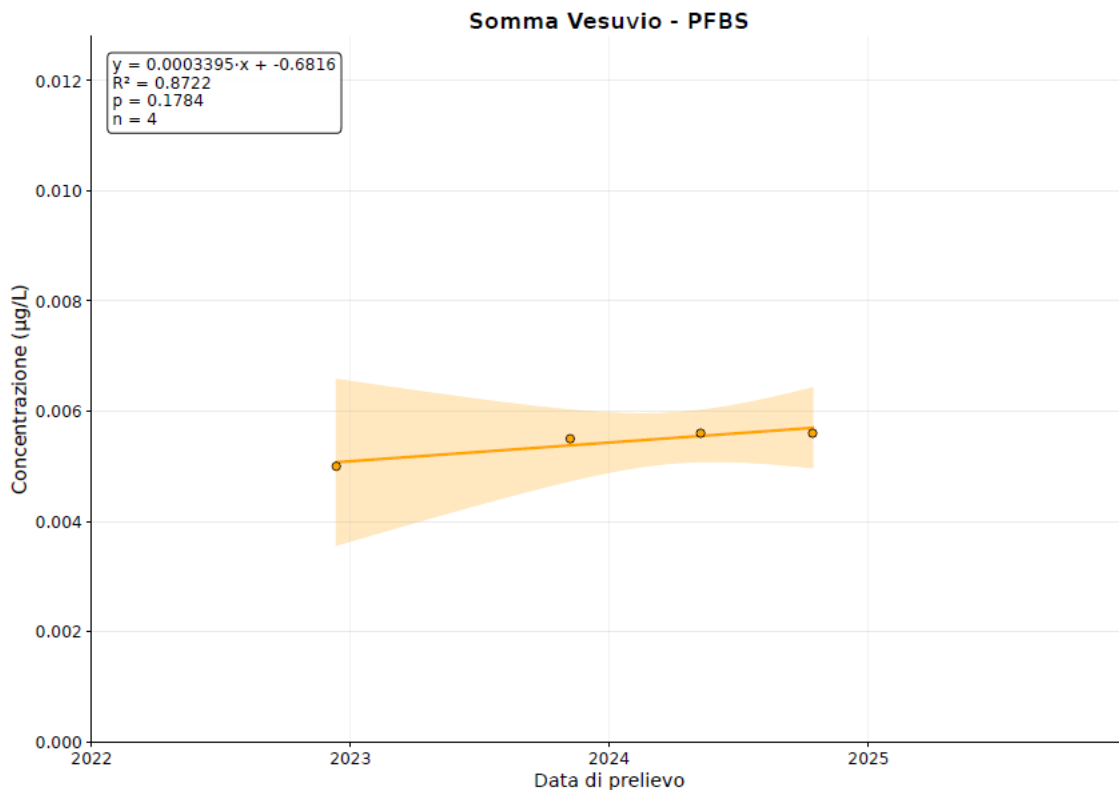


Fig.20 : Tendenza evolutiva delle concentrazioni di PFBS nel CIS: Somma Vesuvio

### Andamento temporale dei PFAS nel CIS “Piana del Volturno in Sinistra Idrografica e R.L.”

Il grafico mostra l’andamento delle concentrazioni di PFOS (fig. 21) nelle acque sotterranee della Piana del Volturno nel settore Regi Lagni. Le concentrazioni risultano comprese tra circa 0.0003 e 0.001 µg/L e mostrano una tendenza crescente nel tempo, con una regressione lineare caratterizzata da  $R^2 = 0.9218$  e  $p = 3.88 \times 10^{-14}$ , indicativa di una relazione statisticamente significativa.

Dal punto di vista normativo, il limite previsto dal DM 6 luglio 2016 per il PFOS è pari a 0.03 µg/L. Le concentrazioni osservate risultano quindi di oltre un ordine di grandezza inferiori al limite di legge, indicando l’assenza di criticità dal punto di vista della conformità normativa, nonostante il trend crescente evidenziato dal grafico.

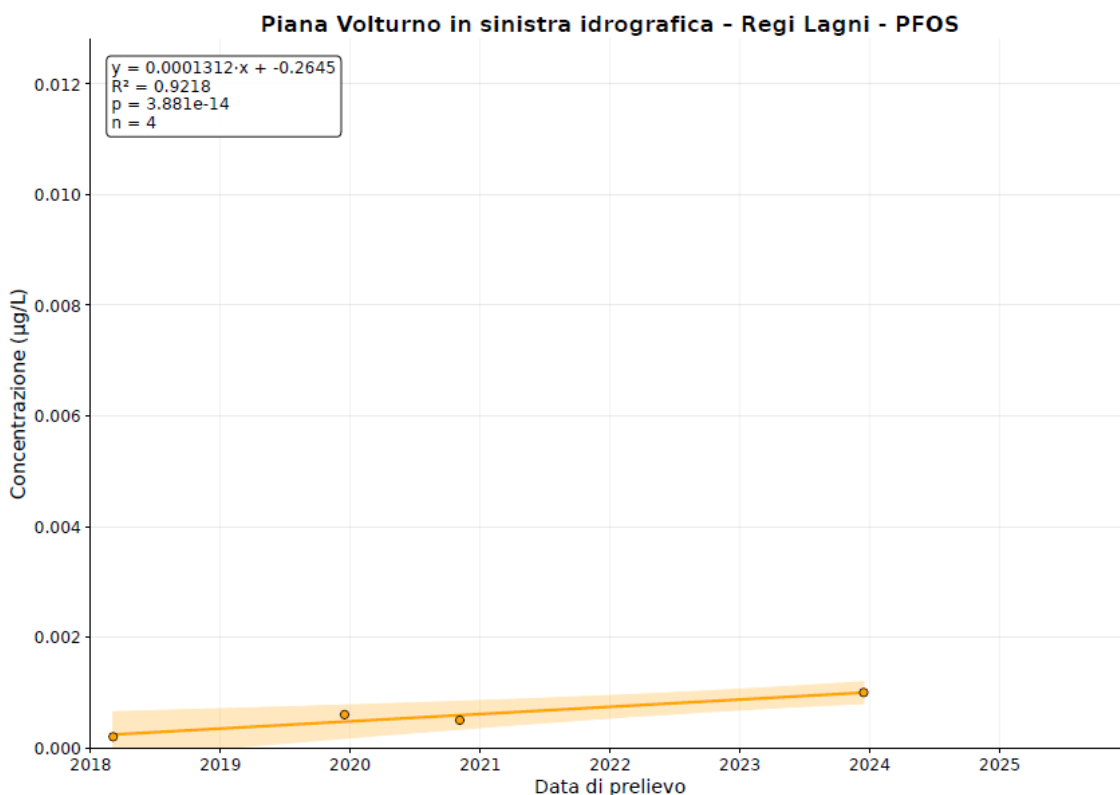


Fig.21 : Tendenza evolutiva delle concentrazioni di PFOS nel CIS: Piana del Volturno in Sinistra Idrografica e Regi Lagni

## Conclusioni

L'analisi dei dati di monitoraggio relativi alla presenza di PFAS nei corpi idrici sotterranei indagati della Campania evidenzia una presenza distribuita in più stazioni di monitoraggio, ma generalmente a basse concentrazioni nei 17 CIS monitorati.

Nel complesso, le concentrazioni rilevate risultano ampiamente inferiori ai limiti normativi stabiliti dal DM 6 luglio 2016, in particolare per i composti regolamentati come PFOS e PFOA, indicando l'assenza di condizioni di non conformità dal punto di vista legislativo.

Altresì, si riscontrano invece superamenti dei Limiti di Quantificazione per varie specie di PFAS: **PFBS, PFOS, PFHxA, PFHxS, PFPeA, PFHpA, PFOA, 6:2 FTS, PFBA, PFHpS, PFNA, FDoDA**, in 11 Corpi Idrici Sotterranei: 1) Solofra Plain, 2) Benevento Plain, 3) Piana Ad Oriente di Napoli, 4) Sarno Plain, 5) Isclero Plain, 6) Sele Plain, 7) Maddalena Mountains, 8) Complesso Tufaceo Basso Volturno, 9) Ufita Plain, 10) Somma – Vesuvio, 11) Piana del Volturno in Sinistra Idrografica e Regi Lagni.

Dal punto di vista compositivo, i risultati mostrano una predominanza di PFAS che superano gli LdQ a catena corta o intermedia, quali PFBA, PFHxA, PFPeA e PFBS, composti



caratterizzati da maggiore solubilità e mobilità nei sistemi idrogeologici rispetto ai PFAS a catena lunga. Questa caratteristica favorisce la loro migrazione nei corpi idrici alluvionali e potrebbe spiegare la loro maggiore frequenza nei campioni analizzati.

Il confronto tra i diversi corpi idrici sotterranei evidenzia inoltre una marcata eterogeneità spaziale nella distribuzione dei PFAS, con concentrazioni relativamente più elevate e una maggiore varietà di composti osservate nella Solofra Plain e nella Benevento Plain rispetto agli altri corpi idrici sotterranei indagati. Tale variabilità potrebbe suggerire l'influenza combinata di sorgenti locali di contaminazione, caratteristiche idrogeologiche dei corpi idrici e dinamiche di trasporto delle acque sotterranee. L'analisi temporale effettuata su alcuni composti mette inoltre in evidenza un aumento delle concentrazioni per specifici PFAS, in particolare del PFBS nella Solofra Plain. Questo dato suggerisce l'opportunità di proseguire con un monitoraggio finalizzato ad intercettare eventuali sviluppi futuri del fenomeno ed estendere le attività di monitoraggio. Nel complesso, i risultati ottenuti indirizzano le future attività di programmazione e pianificazione del Monitoraggio Chimico delle Acque Sotterranee verso un ampliamento dei punti di campionamento ove indagare l'eventuale presenza di sostanze PFAS, proprio con particolare attenzione ai CISS in cui sono stati rilevati superamenti dei limiti di quantificazione. Di contro, si potrebbe valutare una riduzione della frequenza dei campionamenti nelle stazioni già analizzate (presenza di superamenti degli LdQ), considerando che, allo stato attuale, non si osservano incrementi delle concentrazioni tali da far prevedere sforamenti dei limiti normativi nel breve periodo. Nel complesso, i risultati indicano che la presenza di PFAS nei Corpi Idrici Sotterranei indagati rappresenta un impatto a bassa intensità, la cui evoluzione nel tempo richiede un monitoraggio un monitoraggio dedicato e una maggiore copertura spaziale dei punti di campionamento. L'estensione delle attività di monitoraggio e l'approfondimento delle possibili sorgenti di contaminazione risultano pertanto elementi fondamentali per migliorare la comprensione dei processi di trasporto e per garantire una gestione sostenibile delle risorse idriche sotterranee regionali.