



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse
Naturali e Ambiente

Corso di laurea magistrale in Scienze e tecnologie per l'ambiente e il
territorio

CONTAMINAZIONE DA SOSTANZE PERFLUOROALCHILICHE NELLE ACQUE DEL VENETO.

Concentrazioni di PFOA e PFOS nelle acque sotterranee e superficiali e
limiti normativi.

Relatore:

Prof.ssa Pisani Elena

Correlatore:

Prof.ssa Marcolungo Claudia

Laureanda:

Martina Berluti

Matricola n. 2053110

ANNO ACCADEMICO 2023/2024

RIASSUNTO

Nel 2021 l'OECD (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) all'interno del documento *Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Recommendation and Practical Guidance* ha definito le sostanze per- e polifluoroalchiliche come “[...] sostanze fluorurate contenenti almeno un atomo di carbonio di metile o metilene completamente fluorurato (senza alcun atomo di H/Cl/Br/I legato ad esso), vale a dire, con alcune eccezioni note, che qualsiasi sostanza chimica con almeno un gruppo metilico perfluorurato (–CF₃) o un gruppo metilenico perfluorurato (–CF₂–) viene classificata come PFAS”.

Di queste sostanze, la comunità scientifica a livello internazionale ha analizzato con particolare attenzione il PFOA e il PFOS per le conseguenze ambientali e sanitarie che le stesse causano una volta rilasciate nell'ambiente.

Questa tesi ha quindi l'**obiettivo** di valutare il grado di contaminazione da PFAS nelle acque superficiali e sotterranee della regione, con un'attenzione specifica al perfluorottanoico (PFOA) e al perfluorottansolfonico (PFOS). L'analisi si focalizza sui dati raccolti dall'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV) in un arco temporale di sei anni (2017-2023), prelevati nelle diverse tipologie di acque, e confronta le concentrazioni rilevate di PFOA e PFOS con gli standard di qualità ambientali (SQA) e i valori soglia stabiliti dalla normativa italiana.

I risultati della valutazione mostrano livelli variabili di contaminazione da PFAS nel Veneto, con concentrazioni preoccupanti di PFOA e PFOS in diversi comuni e aree territoriali. L'utilità di questo lavoro risiede nel fornire un quadro dettagliato e aggiornato della contaminazione, a sostegno delle attività di monitoraggio ambientale e del rispetto dei limiti di legge, ma anche di offrire una sistematizzazione organizzata dei dati a favore (i) di chi è chiamato ad intervenire per la soluzione del problema e (ii) della popolazione locale che necessita di un supporto tecnico e informativo su come sta evolvendo la situazione. L'analisi, quindi, rappresenta uno strumento concreto per le autorità competenti, contribuendo a favorire una gestione dei rischi sulla base di un approccio *science-based* ovvero sulla base di dati circostanziati legati alla presenza di questi contaminanti. L'obiettivo ultimo è quindi di dare anche supporto per iniziative progettuali che intendano dare una soluzione alla problematica e intese a promuovere la tutela della salute pubblica e dell'ambiente.

ABSTRACT

In 2021, the OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), within the document *Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Recommendation and Practical Guidance*, defined per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) as “[...] fluorinated substances that contain at least one fully fluorinated methyl or methylene carbon atom (without any hydrogen, chlorine, bromine, or iodine atoms attached to it), meaning, with some known exceptions, that any chemical with at least one perfluoromethyl group (–CF₃) or perfluoromethylene group (–CF₂–) is classified as a PFAS.”

Among these substances, the international scientific community has paid particular attention to PFOA and PFOS due to the environmental and health consequences they cause once released into the environment.

This thesis aims to assess the level of PFAS contamination in surface and groundwater in the region, with a specific focus on perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctanesulfonic acid (PFOS). The analysis focuses on data collected by the Regional Agency for Environmental Protection and Prevention of Veneto (ARPAV) over a six-year period (2017–2023), sampled from various types of water, and compares the detected concentrations of PFOA and PFOS with the environmental quality standards (EQS) and threshold values established by Italian regulations.

The evaluation results reveal varying levels of PFAS contamination in Veneto, with concerning concentrations of PFOA and PFOS in several municipalities and territorial areas. The usefulness of this work lies in providing a detailed and up-to-date overview of the contamination, supporting environmental monitoring activities and compliance with legal limits, while also offering an organized systematization of the data for the benefit of (i) those tasked with addressing the issue and (ii) the local population, which requires technical and informational support on how the situation is evolving. The analysis thus serves as a practical tool for the competent authorities, contributing to risk management based on a science-based approach, i.e., on circumstantial data regarding the presence of these contaminants. The ultimate goal is also to provide support for project initiatives aimed at resolving the issue and promoting the protection of public health and the environment.

INDICE

CAPITOLO 1	
INTRODUZIONE GENERALE ALLA TESI	11
CAPITOLO 2	
SOSTANZE PER- E POLIFLUOROALCHILICHE	19
2.1 Introduzione.....	19
2.2 Definizione di sostanze Per- e Polifluoroalchiliche	19
2.3 Proprietà chimico – fisiche e fonti di esposizione.....	28
2.4 Utilizzi	32
2.5 Implicazioni tossicologiche ed effetti sulla salute.....	45
2.6 Conclusioni.....	54
CAPITOLO 3	
INQUADRAMENTO NORMATIVO.....	56
3.1 Introduzione.....	56
3.2 Diritto Internazionale ed Europeo	57
3.3 Acque superficiali e sotterranee	71
3.4 Acque potabili	73
3.5 Catena alimentare	76
3.6 Conclusioni.....	78
CAPITOLO 4	
MATERIALI E METODI.....	82
4.1 Introduzione.....	82
4.2 Caso Ri.Mar-MITENI	84
4.3 Sistema di campionamento ARPAV e pulizia del database originale.....	89
4.4 Definizione dell'area di analisi dei dati.....	93
4.4.1 Livelli di aggregazione.....	93
4.4.2 Sviluppo dei dati tramite software QGis	99
4.5 Elaborazione dei dati e metodi statistici.....	103
4.6 SQA e valori soglia	106
4.7 Conclusione.....	109
CAPITOLO 5	
RISULTATI.....	111
5.1 Introduzione.....	111
5.2 Distribuzione spaziale dei punti di campionamento.....	113
5.2.1 Distribuzione spaziale dei punti di campionamento per livelli di aggregazione.....	118
5.3 Presentazione delle tabelle descrittive e grafici a linee per le Aree di impatto.....	120

5.4 Presentazione delle tabelle descrittive e grafici a linee per le Aziende Unità Locali Socio-Sanitarie (AULSS)	144
5.5 Confronto delle concentrazioni di PFOA e PFOS nelle acque con i limiti normativi e standard di qualità ambientale	158
5.6 Discussione dei risultati.....	161
5.7 Conclusione.....	162
CAPITOLO 6	
CONCLUSIONI GENERALI DELLA TESI	164
6.1 Sintesi dei risultati principali.....	164
6.2 Considerazioni finali	166
6.3 Raccomandazioni e prospettive future	167
ALLEGATO I:	179
ALLEGATO II:.....	201

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 Possibili e diverse definizioni di PFAS dal 2011 ad 2022 proposta da Hammel et al., 2022	20
Tabella 2 Dati da Technical Fact Sheet (2017, US EPA) su PFOS e PFOA	32
Tabella 3 Classificazione Allegato XII del Regolamento REACH per sostanze Persistenti (P) e molto persistenti (vP).....	63
Tabella 4 Classificazione Allegato XIII del Regolamento REACH per sostanze Bioaccumulabili (B) e molto bioaccumulabili (vB).....	63
Tabella 5 Classificazione Allegato XIII del Regolamento REACH per la tossicità cronica.	64
Tabella 6 Elenco di sostanze PFAS estremamente problematiche candidate all'autorizzazione	65
Tabella 7 indicazioni di pericolo definite dal Regolamento (UE) 2023/707.	67
Tabella 8 Classificazione tossicità acuto nel Regolamento CLP.....	68
Tabella 9 Classificazione tossicità cronica (cancerogenicità) nel Regolamento CLP.....	69
Tabella 10 SQA-MA e SQA-CMA per l'acido perfluorottansolfonico PFOS.....	72
Tabella 11 SQA-MA nelle acque superficiali interne e altre acque di superficie per alcune tipologie di PFAS	72
Tabella 12 Valori soglia da considerare per la valutazione dello stato chimico delle acque sotterranee.....	73
Tabella 13 Tenori massimi dei PFAS ($\mu\text{g}/\text{kg}$) all'interno degli alimenti.	77
Tabella 14 Diritto Internazionale.....	78
Tabella 15 Diritto Europeo	78
Tabella 16 Diritto Nazionale.....	80
Tabella 17 Concentrazioni progetto PERFORCE	86
Tabella 18 Aree di impatto Rossa, Arancione e Gialla aggiornate dalla DGR n. 691 del 21/05/2018	95
Tabella 19 Standard di qualità ambientale per le acque superficiali e valori soglia per le acque sotterranee.	107
Tabella 20 Descrizione del numero di punti di monitoraggio negli anni per il PFOA e il PFOS.....	113
Tabella 21 Numero di punti di monitoraggio per il PFOA e il PFOS nelle acque per le aree di impatto.....	118
Tabella 22 Numero di punti di monitoraggio per il PFOA e il PFOS nelle acque per le Aziende Unità Socio-Sanitarie.....	119
Tabella 23 Tabella descrittiva del PFOA per l'area rossa A nelle acque superficiali.....	121
Tabella 24 Tabella descrittiva del PFOA per l'area rossa B nelle acque superficiali.	123
Tabella 25 Tabella descrittiva del PFOA per l'area arancione AAR nelle acque superficiali.....	124
Tabella 26 Tabella descrittiva del PFOA per l'area gialla AGA nelle acque superficiali.	125
Tabella 27 Tabella descrittiva del PFOA per l'area verde AVA nelle acque superficiali	126
Tabella 28 Tabella descrittiva del PFOA per l'area di controllo nelle acque superficiali.....	127
Tabella 29 Tabella descrittiva del PFOS per l'area rossa ARA nelle acque superficiali	127
Tabella 30 Tabella descrittiva del PFOS per l'area rossa ARB nelle acque superficiali	128
Tabella 31 Tabella descrittiva del PFOS per l'area arancione AAR nelle acque superficiali.....	129
Tabella 32 Tabella descrittiva del PFOS per l'area gialla AGA nelle acque superficiali.....	130
Tabella 33 Tabella descrittiva del PFOS per l'area verde AVA nelle acque superficiali.....	130
Tabella 34 Tabella descrittiva del PFOS per l'area di controllo nelle acque superficiali	131
Tabella 35 Tabella descrittiva del PFOA per l'area rossa ARA nelle acque sotterranee	132
Tabella 36 Tabella descrittiva del PFOA per l'area rossa ARB nelle acque sotterranee.	133
Tabella 37 Tabella descrittiva del PFOA per l'area arancione AAR nelle acque sotterranee	134
Tabella 38 Tabella descrittiva del PFOA per l'area gialla AGA nelle acque sotterranee.....	135
Tabella 39 Tabella descrittiva del PFOA per l'area verde AVA nelle acque sotterranee.....	136
Tabella 40 Tabella descrittiva del PFOA per l'area di controllo nelle acque sotterranee	136
Tabella 41 Tabella descrittiva del PFOS per l'area rossa ARA nelle acque sotterranee	137
Tabella 42 Tabella descrittiva del PFOS per l'area rossa ARB nelle acque sotterranee	138
Tabella 43 Tabella descrittiva del PFOS per l'area arancione nelle acque sotterranee.....	138
Tabella 44 Tabella descrittiva del PFOS per l'area gialla AGA nelle acque sotterranee	139

Tabella 45	Tabella descrittiva del PFOS per l'area verde AVA nelle acque sotterranee	140
Tabella 46	Tabella descrittiva del PFOS per l'area di controllo nelle acque sotterranee.....	141
Tabella 47	Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.3 SERENISSIMA nelle acque superficiali.	144
Tabella 48	Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.5 POLESANA nelle acque superficiali.....	145
Tabella 49	Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.6 EUGANEA nelle acque superficiali	145
Tabella 50	Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.8 BERICA nelle acque superficiali	145
Tabella 51	Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.9 SCALIGERA nelle acque superficiali	146
Tabella 52	Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.2 MARCA TREVIGIANA nelle acque superficiali	147
Tabella 53	Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.3 SERENISSIMA nelle acque superficiali	148
Tabella 54	Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.4 VENETO ORIENTALE nelle acque superficiali.	148
Tabella 55	Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.5 POLESANA nelle acque superficiali	148
Tabella 56	Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.6 EUGANEA nelle acque superficiali.....	149
Tabella 57	Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.7 PEDEMONTANA nelle acque superficiali	149
Tabella 58	Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.8 BERICA nelle acque superficiali.	150
Tabella 59	Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.9 SCALIGERA nelle acque superficiali.....	150
Tabella 60	Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.2 MARCA TREVIGIANA nelle acque sotterranee.	151
Tabella 61	Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.3 SERENISSIMA nelle acque sotterranee.....	152
Tabella 62	Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.5 POLESANA nelle acque sotterranee	152
Tabella 63	Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.6 EUGANEA nelle acque sotterranee.....	153
Tabella 64	Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.7 PEDEMONTANA nelle acque sotterranee	153
Tabella 65	Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.8 BERICA nelle acque sotterranee	153
Tabella 66	Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.9 SCALIGERA nelle acque sotterranee.....	154
Tabella 67	Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.2 MARCA TREVIGIANA nelle acque sotterranee	155
Tabella 68	Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.6 EUGANEA nelle acque sotterranee.	156
Tabella 69	Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.7 PEDEMONTANA nelle acque sotterranee	156
Tabella 70	Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.8 BERICA nelle acque sotterranee.....	157
Tabella 71	Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.9 SCALIGERA nelle acque sotterranee	157

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 PFAS all'interno dei composti organofluorurati	23
Figura 2 Classificazione dei PFAS non polimerici nei corrispondenti gruppi e sottogruppi.....	25
Figura 3 Acido perfluorooctanoico, PFOA	27
Figura 4 Acido perfluorooctansolfonico,PFOS	27
Figura 5 Trasporto del PFOA vicino alla fonte di scarico	30
Figura 6 Fonti principali dei PFAS	34
Figura 7 Utilizzo della schiuma antincendi	39
Figura 8 Padella antiaderente	40
Figura 9 Problematica campionamento anno 2017 ARPAV	91
Figura 10 Mappa dell'area di esposizione da PFAS nella Regione Veneto aggiornata al 2018.....	95
Figura 11 Esempio dell'aggiunta della colonna "anno" sul file Excel per le acque sotterranee	100
Figura 12 Funzione "Aggiungi Layer Testa Delimitato"	101
Figura 13 Visualizzazione del Layer sul foglio di progetto QGis	101
Figura 14 Visualizzazione della tabella attributi del Layer	102
Figura 15 Visualizzazione del layer categorizzato sul foglio del progetto QGis.....	102
Figura 16 Aggiunta dei confini della regione Veneto	103
Figura 17 Distribuzione spaziale dei punti di campionamento del PFOA nelle acque del Veneto nei periodi 2017, 2020 e 2023.	115
Figura 18 Distribuzione spaziale dei punti di campionamento del PFOS nelle acque del Veneto nei periodi 2017, 2020 e 2023.	116
Figura 19 Grafico a linee delle concentrazioni medie delle aree di impatto per il PFOA e PFOS nelle acque superficiali	142
Figura 20 Grafico a linee delle concentrazioni medie delle aree di impatto per il PFOA e PFOS nelle acque sotterranee	143
Figura 21 Grafico a linee delle concentrazioni medie delle AULSS per il PFOA nelle acque superficiali...	147
Figura 22 Grafico a linee delle concentrazioni medie delle AULSS per il PFOS nelle acque superficiali ...	151
Figura 23 Grafico a linee delle concentrazioni medie delle AULSS per il PFOA nelle acque sotterranee...	155
Figura 24 Grafico a linee delle concentrazioni medie delle AULSS per il PFOS nelle acque sotterranee....	158

INDICE DELLE EQUAZIONI

Equazione 1 Coefficiente di ripartizione ottanolo/acqua.....	28
--	----

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE GENERALE ALLA TESI

I composti per- e polifluoroalchilici rappresentano una vasta famiglia di sostanze chimiche di sintesi, caratterizzate da una struttura, ramificata o lineare, estremamente stabile di carbonio-fluoro che conferisce loro un'elevata resistenza chimica e termica. Grazie alle loro proprietà uniche, i PFAS sono stati utilizzati sin dagli anni Cinquanta del secolo scorso, in numerosi settori industriali e commerciali, quali rivestimenti antiaderenti, tessuti impermeabili, schiume antincendio e prodotti di carta e imballaggio. Tuttavia, queste stesse proprietà li hanno reso noti come “inquinanti eterni” (*forever chemicals*), in quanto molto persistenti nell'ambiente e bioaccumulabili nella rete trofica, generando gravi preoccupazioni per la salute umana e l'ecosistema.

Il quadro normativo, sia a livello internazionale che europeo, si compone di **accordi, convenzioni, regolamenti e direttive** che cercano di arginare l'uso e la dispersione di queste sostanze. In particolare, a livello internazionale sono di riferimento la Convenzione di Rotterdam (1998) e la Convenzione di Stoccolma sui POPs (2001). In ambito europeo, il Regolamento REACH (CE n. 1907/2006) e il Regolamento CLP (CE n. 1272/2008) costituiscono i principali strumenti per il controllo delle sostanze chimiche. A livello italiano, il D.Lgs. 172/2015 e il DM 6 luglio 2016 recepiscono rispettivamente la direttiva 2013/39/CE e la direttiva 2006/118/CE, e stabiliscono gli SQA e i valori soglia per le acque superficiali e sotterranee, che rappresentano i parametri di riferimento per questa analisi.

In questo ambito, il Veneto spicca tra i territori italiani essendo uno dei più colpiti dalla contaminazione da PFAS, a causa della presenza di fonti industriali che per anni hanno contribuito alla diffusione di questi composti nell'ambiente.

Alla luce delle premesse, la presente tesi ha come **primo obiettivo specifico** l'analisi dei livelli di contaminazione dal 2017 al 2023 da acido perfluorottanoico (PFOA) e acido perfluorottansolfonico (PFOS) nelle acque sotterranee, superficiali e sorgive presenti del Veneto in virtù degli impatti particolarmente rilevanti sotto il profilo ambientale-sanitario.

Con tale finalità, lo studio si basa sui dati raccolti da ARPAV nel periodo 2017-2023, in un contesto di crescenti preoccupazioni normative e ambientali legate alla contaminazione da PFAS. Utilizzando tecniche di analisi statistica descrittiva e georeferenziazione attraverso QGIS, i dati sono stati aggregati per comuni, aree di impatto e AULSS (Aziende Unità Locale Socio-Sanitaria). Il **secondo obiettivo specifico** consta nel valutare il rispetto dei limiti normativi definiti dal D.Lgs. 172/2015 e dal DM 6 luglio 2016, e confrontare i risultati con gli standard di qualità ambientale (SQA) e i valori

soglia, rispettivamente per le acque superficiali e sotterranee. La tesi evidenzia le aree geografiche più colpite dalla contaminazione, con particolare attenzione alla ex azienda MITENI spa, una delle principali fonti di inquinamento da PFAS nella regione. I risultati dimostrano una persistente criticità in alcune aree, soprattutto per quanto riguarda il superamento dei valori soglia per PFOA e PFOS.

In particolare, il lavoro di tesi è organizzato in **sei** capitoli che affrontano il percorso di ricerca per offrire una possibile risposta agli obiettivi sopra indicati.

All'interno del **capitolo secondo**, costruito sulle basi della letteratura scientifica, si propone inizialmente la definizione e la suddivisione di sostanze per- e polifluoroalchiliche, ovvero i PFAS. La particolare struttura ramificata e /o lineare conferisce a questi composti proprietà chimico-fisiche alquanto rilevanti, rendendo di fatto queste sostanze tra le più prodotte ed utilizzate a livello industriale. Inoltre, all'interno del capitolo sono elencati gli svariati utilizzi effettuati a partire degli anni Cinquanta dalle imprese per la manifattura di tantissimi prodotti di consumo. La persistente (Abunada *et al.*, 2020) presenza di PFAS in ambiente e l'aumento delle conoscenze sulla elevata tossicità appartenente a questa tipologia di composti hanno portato recentemente (dai primi anni 2000) ad una valutazione sempre più critica riguardo gli effetti che producono sia sull'ambiente che sulla salute dell'uomo.

Nel **capitolo terzo** propone l'analisi giuridica. Dopo decenni di contaminazione ambientale e l'accertamento degli effetti avversi riscontrati sull'uomo¹, queste sostanze risultano essere tra le problematiche più discusse a livello globale. Nel capitolo si analizzano i diversi approcci normativi adottati dai paesi dell'Unione Europea e dagli organismi internazionali rispetto alle sostanze per- e polifluoroalchiliche, considerando come questa tipologia di composti sia difficile da inquadrare a causa della loro ubiquità, eterogeneità e peculiarità di caratteri e proprietà. Tra gli atti internazionali che incidono sulla regolazione di questi composti chimici vanno menzionati la Convenzione di Rotterdam adottata nel 1998 ed entrata in vigore nel 2004, inoltre va ricordata la Convenzione di Stoccolma sugli inquinanti organici persistenti (POPs) del 2001, che ha come obiettivo l'eliminazione

¹Nel 2023, lo IARC, *International Agency of Research on Cancer*, classifica l'acido perfluorottanoico PFOA come cancerogeno certo per l'uomo (Gruppo 1) e l'acido perfluoroottansolfonico PFOS come possibile cancerogeno per l'uomo (Gruppo2B)(Fonte:<https://monographs.iarc.who.int/news-events/volume-135-perfluorooctanoic-acid-and-perfluorooctanesulfonic-acid/>).

e la diminuzione dell'uso dei POPs². A livello europeo un ruolo centrale è svolto da EFSA, l'Autorità Europea per la Sicurezza Alimentare, che fornisce consulenze scientifiche sui rischi connessi all'alimentazione, pubblica pareri sui rischi alimentari attuali ed emergenti che confluiscono nella legislazione, nelle regolamentazioni e nelle strategie politiche europee. In ambito europeo le sostanze chimiche vengono disciplinate tramite il regolamento (CE) n. 1907/2006 che si occupa della registrazione, valutazione, l'autorizzazione e la restrizione di queste, ovvero il Regolamento REACH; mentre il Regolamento CLP (*Classification, Labelling and Packaging*) n. 1272/2008/CE, ha l'obiettivo di facilitare la libera circolazione, all'interno dell'Unione Europea, delle sostanze, delle miscele e degli articoli nonché garantire un elevato livello di protezione della salute dell'uomo e dell'ambiente. Il quadro dei PFAS è oggetto di ulteriori regolamentazioni e direttive europee a carattere settoriale, inerenti la qualità e la protezione delle diverse tipologie di acque, le acque destinate al consumo umano e i contaminanti alimentari, la gestione e smaltimento dei rifiuti.

Nel **capitolo quarto**, si presenta l'approccio metodologico alla ricerca. Il lavoro si avvale di un approccio metodologico che comprende diverse fasi, tra cui, la pulizia, l'organizzazione e l'analisi statistica dei dati ambientali a partire dal database fornito da ARPAV. Le concentrazioni di PFOA e PFOS sono analizzate per periodo di rilevazione, tipologia di acqua e livelli di aggregazione (zone di impatto e Azienda Unità Sanitaria Locale Socio-Sanitaria) e rappresentate tramite mappe create grazie al programma QGis per visualizzare chiaramente la distribuzione spaziale della contaminazione. Gli strumenti di statistica descrittiva applicati, tra cui medie, mediane, grafici a "scatola e baffi" (*boxplot*) e grafici a linee, permettono di confrontare la variabilità delle concentrazioni nel tempo e di identificare i picchi critici in ciascun territorio. Infine, sono stati utilizzati algoritmi Excel per identificare i superamenti normativi e fornire una valutazione quantitativa del rischio associato alla contaminazione da PFAS. Il campionamento delle acque è un processo fondamentale per analizzare la qualità dell'acqua da diverse prospettive, come la sicurezza e la potabilità dell'acqua stessa, la sua sterilità in ambito medico, o la quantità e il tipo di impurità che possono trovarsi nelle acque di scarico. Il progetto di tesi analizza il campionamento e piano di monitoraggio su acque superficiali e sotterranee³ eseguiti da ARPAV nel Veneto in un arco temporale di sei anni (2017-2023) per le

²Il primo Regolamento, ora abrogato, che ha implementato nell'ordinamento europeo la Convenzione POPs è il Regolamento CE n. 850/2004 poi sostituito dal Regolamento (CE) n. 2019/1021 che si integra col Regolamento REACH n. 1907/2006. In Italia la Convenzione è stata oggetto di specifico atto di ratifica, la legge 12 luglio 2022 n. 93.

³Le acque superficiali vengono definite come acque interne, ad eccezione delle sole acque sotterranee, acque di transizione e le acque costiere; mentre le acque sotterranee riguardano tutte le acque che si trovano al di sotto della superficie del suolo nella zona di saturazione e a contatto diretto con il suolo e sottosuolo (D.Lgs 152/2006 PARTE III - SEZIONE I).

sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS) al fine di stimare il grado di contaminazione per l'acido perfluorottanoico (PFOA) e l'acido perfluorottansolfonico (PFOS), rapportato agli standard di qualità ambientali SQA per le acque superficiali e ai valori soglia per le acque sotterranee. Il piano di monitoraggio di ARPAV è un programma dettagliato che prevede il controllo della qualità delle acque superficiali e sotterranee nella regione Veneto. Per le **acque superficiali** (fiumi e laghi) si esegue un monitoraggio chimico (misure sulla colonna d'acqua, sui pesci e sui sedimenti), biologico (analisi delle comunità biologiche) e misure quantitative della risorsa idrica. Per le **acque sotterranee** si eseguono misure qualitative (analisi chimico-fisiche) e misure quantitative (livello di falda e portata delle sorgenti)⁴. L'analisi, come sopra specificato, prende in esame il periodo compreso tra il 2017 e il 2023, poiché, dal 2013 al 2017, i campionamenti delle sostanze oggetto di studio non tenevano conto della distinzione tra isomeri lineari e ramificati. Conseguentemente per raggiungere l'obiettivo, la parte metodologica è stata strutturata in cinque parti:

- 1. Presentazione del Caso Ri.Mar-MITENI**, quale primo sito di rilevante contaminazione, con diffusione dell'inquinamento sia in acque superficiali che sotterranee di un vasto territorio della regione del Veneto compreso tra le province di Verona, Vicenza e Padova. Nel medesimo territorio regionale (e quindi non solo limitato alle province sopra specificate) si ravvisano ulteriori fonti di contaminazione derivanti da altre attività produttive e dai consumatori stessi, che rilasciano PFAS attraverso processi di produzione o mediante l'eliminazione di rifiuti contenenti questi specifici *forever chemicals*.
- 2. Presentazione del sistema di campionamento ARPAV e conseguente “pulizia” del database originale**, concentrandosi sulle matrici delle acque superficiali e sotterranee. I campionamenti effettuati dall'Agenzia risalgono al 2013, ma il nostro studio si focalizza sui dati raccolti a partire dal 2017. Il database comprende tutte le sostanze PFAS, con informazioni dettagliate riguardanti le province, i comuni, le date di prelievo, la tipologia di acqua campionata, le coordinate geografiche e le sostanze rilevate. In particolare, sono stati approfonditi lo studio dell'acido perfluorottanoico (PFOA) e dell'acido perfluorottansolfonico (PFOS), in considerazione degli elementi di fatto specificati nei capitoli precedenti. Infine, è stata analizzata la metodologia di campionamento adottata da ARPAV, considerando i diversi livelli di aggregazione territoriale, come le aree geografiche, facendo riferimento alle delibere della Giunta Regionale (DGR) per la suddivisione delle zone di monitoraggio, e le Aziende - Unità Locale Socio-Sanitaria (AULSS);

⁴ <https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/acque-interne/monitoraggio>

3. **Elaborazione di una rappresentazione cartografica dell'inquinamento** per le tre tipologie di acque (qui si includono anche le acque risorgive) attraverso il sistema informativo geografico QGis. L'utilizzo del software ha fornito un quadro più dettagliato del livello di contaminazione da sostanze per- e polifluoroalchiliche PFAS nella regione Veneto, nel particolare da PFOA e PFOS su base spaziale.
4. **Presentazione dei metodi statistici per l'elaborazione dei dati.** L'elaborazione è stata condotta utilizzando metodi di statistica descrittiva e basata su indici di concentrazione e di dispersione come **media, mediana, valore min-max della distribuzione dati, deviazione standard**, per fornire una sintesi accurata dei dati raccolti, e specificando l'organizzazione dei dati tabellari all'interno del database. Questo approccio permette di strutturare i dati in modo sistematico, facilitando la presentazione, l'interpretazione e la discussione dei risultati che verrà realizzata nel capitolo successivo.
5. **Esplicitazione di come avviene il confronto tra i dati di statistica descrittiva che verranno raccolti, con quanto stabilisce la normativa, al fine di valutare per le diverse annualità la condizione di inquinamento.** Pertanto, il richiamo a quanto stabilisce la normativa vigente in ordine agli standard di qualità ambientale SQA e valori soglia è essenziale per contestualizzare l'analisi dei dati. In particolare, viene fissato tra i requisiti minimi di prestazione dei metodi analitici un limite di quantificazione (LOQ)⁵ uguale o inferiore al 30% del valore dello standard di qualità medio annuo SQA-MA. Questo permette di valutare con precisione la gravità della situazione nella regione Veneto in relazione alla presenza di PFOA e PFOS e di comprendere meglio l'entità della contaminazione e il livello di rischio associato per l'ambiente e la salute pubblica.

Nel capitolo **quinto** sono presentati i risultati ottenuti dall'analisi delle concentrazioni di PFOA e PFOS nelle diverse tipologie di acque del Veneto. A partire dai dati raccolti e analizzati dall'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV) per singolo comune della regione, l'obiettivo specifico di questa tesi consta nell'analizzare i livelli di contaminazione

⁵Il limite di quantificazione (*Quantification limit* LOQ), è il limite di concentrazione fino a cui è possibile ottenere strumentalmente una misura di tipo quantitativo con relativa incertezza (5% o 1%) e viene valutato come 10 volte la deviazione standard della misura effettuata sul bianco (Thompson, M., Ellison, S. L. R., & Wood, R. (2002). Harmonized guidelines for single-laboratory validation of methods of analysis (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 74(5), 835–855. <https://doi.org/10.1351/pac200274050835>)

riscontrati nelle acque sotterranee, superficiali e nelle sorgenti e risorgive tra il 2017 e il 2023, al fine di valutare se le concentrazioni campionarie in relazione a diverse aree di impatto superino o meno i limiti definiti dalle normative vigenti.

I PFAS di maggiore interesse sotto il profilo ambientale e sanitario sono il PFOA e il PFOS, per gli stessi si analizza la loro distribuzione geografica e l'evoluzione della loro concentrazione nelle diverse tipologie di acque nel tempo. I dati sono inoltre aggregati per due livelli di indagine: (1) per aree di impatto identificate dalla DGR n. 691 del 21/05/2018 e per (2) Aziende Unità Locali Socio-Sanitarie (AULSS). Il primo livello di aggregazione è inteso per dare conto alla cittadinanza su come il fenomeno dell'inquinamento da PFOA e PFOS stia evolvendo negli anni più recenti, il secondo livello di aggregazione serve per dare informazione ai soggetti preposti alla tutela della salute nel territorio in ordine alla presenza di tali inquinanti che, come la letteratura scientifica di materia evidenzia, determinano e, purtroppo per la loro natura di persistenza, anche chiamati *forever chemicals*, continueranno a determinare degli impatti su specifiche tipologie di patologie. Nell'annesso statistico (ALLEGATO 1), vengono inoltre riportati i dati di concentrazione media annua (ng/l) di PFOA e PFOS, delle tre diverse tipologie di acque, a livello di singolo comune del Veneto, fornendo in questo modo un quadro dettagliato della distribuzione delle concentrazioni campionate nel periodo di studio, con l'obiettivo di dare informazioni puntuali alla cittadinanza.

Per fornire una chiara interpretazione dei risultati il capitolo è stato suddiviso in questo modo:

1. Analisi del sistema di campionamento realizzato da ARPAV dal 2017 al 2023 con rappresentazione tramite QGis.

In questa sezione vengono esaminati i punti di campionamento di PFOA e PFOS nelle tre principali tipologie di acque campionate (acque sotterranee, acque superficiali e sorgenti risorgive) del Veneto. Per supportare la comprensione della distribuzione spaziale delle sostanze, sono state generate **mappe geografiche** tramite il software QGis, che rappresentano graficamente le concentrazioni di PFOA e PFOS negli anni 2017, 2020 e 2023. L'analisi spaziale è stata inoltre condotta a due **livelli di aggregazione geografica**, ovvero per le aree di impatto (area rossa, arancione, gialla e verde) e per le Aziende Unità Locali Socio-Sanitarie (AULSS).

2. Analisi con statistiche descrittive delle concentrazioni di PFOA e PFOS per aree di impatto.

Nel paragrafo verranno analizzate le aree di impatto definite dalla Regione Veneto secondo la DGR n. 691 del 21/05/2018, suddivise in base al livello di contaminazione da PFAS e alla tipologia di esposizione sanitaria. Saranno descritte le caratteristiche delle diverse zone (Aree rossa A e B, arancione, gialla e verde) e confrontate con l'area di controllo, che include i comuni non direttamente interessati dalla classificazione ufficiale ma comunque campionati. Questo

confronto permetterà di evidenziare le differenze nelle concentrazioni dei contaminanti e di valutare l'effettiva diffusione dell'inquinamento, fornendo un quadro complessivo delle dinamiche ambientali e delle criticità osservate.

3. Analisi con statistiche descrittive delle concentrazioni di PFOA e PFOS per Aziende Unità Locali Socio-Sanitarie (AULSS).

Successivamente è stata effettuata una valutazione delle concentrazioni di contaminanti rilevate nelle diverse Aziende Unità Locali Socio-Sanitarie (AULSS), con l'obiettivo di evidenziare le differenze tra le aree in termini di impatto ambientale e sanitario. I dati sono stati confrontati con le concentrazioni medie registrate nei comuni della regione, al fine di individuare eventuali variazioni significative su scala territoriale più ampia e ottenere un quadro dettagliato della distribuzione della contaminazione da PFOA e PFOS, nonché della sua incidenza sulle aree di competenza delle diverse AULSS.

4. Confronto con i limiti normativi e standard di qualità ambientale. In questa sezione vengono confrontati i valori di concentrazione di PFOA e PFOS rilevati nelle acque sotterranee e superficiali con i limiti normativi stabiliti a livello nazionale. Nello specifico per le acque sotterranee, viene eseguito un confronto con i **valori soglia** definiti dal D.M. 6 luglio 2016, mentre per le acque superficiali, il confronto viene fatto con gli **standard di qualità ambientale (SQA)** indicati dal D.Lgs. 172/2015. Sono stati applicati algoritmi Excel per identificare i superamenti dei limiti.

5. Discussione dei risultati. La discussione critica dei risultati ottenuti analizza le tendenze generali delle concentrazioni di PFOA e PFOS nelle tre tipologie di acque. Vengono identificate le principali aree di criticità, ossia i comuni, le zone di impatto e le AULSS in cui si sono osservati i maggiori superamenti dei limiti normativi o le concentrazioni più elevate.

Il capitolo **sesto** sintetizza i diversi elementi di indagine della tesi che ha analizzato la contaminazione da PFAS, in particolare PFOA e PFOS, nelle acque del Veneto. Lo studio integra analisi normativa, dati ambientali e prospettiva geospaziale. I PFAS, ampiamente utilizzati dal 1950 in vari settori industriali per le loro proprietà chimico-fisiche, sono ora riconosciuti come inquinanti persistenti con effetti negativi sulla salute umana. La regolamentazione internazionale, come la Convenzione di Stoccolma, mira a ridurre o eliminare questi inquinanti. A livello europeo, l'EFSA ha stabilito limiti stringenti per l'assunzione di PFAS, mentre regolamenti come REACH e CLP ne regolano l'uso. L'Italia ha recepito le direttive UE, fissando limiti per PFAS nelle acque. La metodologia dello studio

si basa su dati ARPAV, elaborati statisticamente e georeferenziati. L'analisi si concentra sul caso Ri.Mar-MITENI, principale fonte di contaminazione in Veneto. I risultati mostrano una distribuzione eterogenea di PFOA e PFOS nelle acque venete, con le aree più contaminate corrispondenti alle zone di massima esposizione sanitaria. Si osserva una progressiva estensione della contaminazione, con persistenti superamenti dei limiti normativi in alcune aree. Lo studio fornisce una base per interventi mirati e ulteriori ricerche.

CAPITOLO 2

SOSTANZE PER- E POLIFLUOROALCHILICHE

2.1 Introduzione

Nel presente capitolo, costruito sulle basi della letteratura scientifica, viene proposta inizialmente la definizione e la suddivisione di sostanze per- e polifluoroalchiliche, ovvero i PFAS. La particolare struttura ramificata e /o lineare conferisce a questi composti proprietà chimico-fisiche alquanto rilevanti, rendendo di fatto queste sostanze tra le più prodotte ed utilizzate a livello industriale. Inoltre, all'interno del capitolo verranno elencati gli svariati utilizzi effettuati a partire degli anni Cinquanta dalle imprese per la manifattura di tantissimi prodotti di consumo. La persistente (Abunada *et al.*, 2020) presenza di PFAS in ambiente e l'aumento delle conoscenze sulla elevata tossicità appartenente a questa tipologia di composti hanno portato recentemente (dai primi anni 2000) ad una valutazione sempre più critica riguardo gli effetti che questi producono sia sull'ambiente che sulla salute dell'uomo.

2.2 Definizione di sostanze Per- e Polifluoroalchiliche

Nel 2021 l'OECD (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) tramite il documento *"Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Recommendation and Practical Guidance"*⁶ ha così definito le sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS): "I PFAS vengono definiti come sostanze fluorurate contenenti almeno un atomo di carbonio di metile o metilene completamente fluorurato (senza alcun atomo di H/Cl/Br/I legato ad esso), vale a dire, con alcune eccezioni note, che qualsiasi sostanza chimica con almeno un gruppo metilico perfluorurato (-CF₃) o un gruppo metilenico perfluorurato (-CF₂-) viene classificata come PFAS" (Fonte: ns traduzione da OECD 2021).

La definizione precedentemente usata da Buck *et al.*, 2011, definiva i PFAS come *"the highly fluorinated aliphatic substances that contain 1 or more C atoms on which all the H substituents (present in the nonfluorinated analogues from which they are notionally derived) have been replaced"*

⁶<https://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/terminology-per-and-polyfluoroalkyl-substances.pdf>

by F atoms, in such a manner that they contain the perfluoroalkyl moiety $C_nF_{2n+1}-$ ” (i.e. must contain at least $-CF_3$)” e che ne propone una sistematica analisi e classificazione delle stesse.

Come evidenziato dall’OECD (2022), la definizione di Buck *et al.*, 2011 non è più in grado di rappresentare la complessità e la varietà di sostanze come i PFAS.

La Tabella 1 proposta da Hammel *et al.*, 2022 riporta una sintesi di definizioni di PFAS sviluppate partendo da Buck *et.*, 2011, fino al 2022.

Tabella 1 Possibili e diverse definizioni di PFAS dal 2011 ad 2022 proposta da Hammel *et at.*, 2022

Fonte della definizione	Anno	Definizione
Buck, Robert C., James Franklin, Urs Berger, Jason M. Conder, Ian T. Cousins, Pim de Voogt, Allan Astrup Jensen, Kurunthachalam Kannan, Scott A. Mabury, and Stefan P. J. van Leeuwen. 2011. “Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: Terminology, classification, and origins.” <i>Integrated Environmental Assessment and Management</i> 7 (4):513-541. https://doi.org/10.1002/ieam.258	2011	“sostanze alifatiche altamente fluorurate che contengono uno o più atomi di carbonio (C) su cui tutti i sostituenti di idrogeno (H) (presenti negli analoghi non fluorurati da cui derivano) sono stati sostituiti da atomi di fluoro (F), in modo tale che contengono la porzione perfluoroalchilica $C_nF_{2n+1}-$.”
NDA, WA, CA, VT, ME	2019, 2020, 2021	Prodotti chimici organici contenenti almeno 1 atomo di carbonio completamente fluorurato.
Glüge, Juliane, Rachel London, Ian T. Cousins, Jamie DeWitt, Gretta Goldenman, Dorte Herzke, Rainer Lohmann, Mark Miller, Carla A. Ng, Sharyle Patton, Xenia Trier, Zhanyun Wang, and Martin Scheringer. 2022. “Information Requirements under the Essential-Use Concept: PFAS Case Studies.” <i>Environmental Science & Technology</i> 56 (10):6232-6242. DOI 10.1021/acs.est.1c03732	2020	Oltre alle sostanze contenenti C_nF_{2n+1} , dove $n \geq 1$, “include anche (i) sostanze in cui una catena perfluorocarburica è collegata a gruppi funzionali su entrambe le estremità, (ii) sostanze aromatiche che hanno porzioni perfluoroalchiliche sulle catene laterali, e (iii) sostanze cicloalifatiche fluorurate. Inoltre, “PFAS polimerici con la porzione CF_2- e PFAS non polimerici con la porzione $-CF_2-CF_2-$ -sostanze non polimeriche che contengono solo una porzione $-CF_3$ o CF_2- , con l’eccezione dei perfluoroalchileteri e delle sostanze a base di per e polifluoroalchileteri sostanze. Per questi due gruppi PFAS sono incluse anche le sostanze con una porzione $-CF_2OCF_2-$ o $-CF_2OCFHCF-$.”

<p>OECD. 2021. Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Recommendations and Practical Guidance. No. 61. Paris: OECD Publishing. https://www.oecd.org/chemicalsafety/portals-perfluorinated-chemicals/terminology-per-and-polyfluoroalkyl-substances.pdf</p>	<p>2021</p>	<p>"PFAS, compresi i perfluorocarburi, che contengono una porzione perfluoroalchilica con tre o più atomi di carbonio (ovvero $-C_nF_{2n-}$, $n \geq 3$) o una porzione perfluoroalchilicetere con due o più atomi di carbonio (ovvero $-C_nF_{2n}OC_mF_{2m-}$, n and $m \geq 1$)."</p>
		<p>"sostanze fluorurate che contengono almeno un atomo di carbonio di metile o di metilene completamente fluorurato (senza alcun atomo di H/Cl/Br/I attaccato ad esso), vale a dire con poche eccezioni note, qualsiasi sostanza chimica con almeno un gruppo metilico perfluorurato ($-CF_3$) o un gruppo metilenico perfluorurato ($-CF_2-$) è un PFAS."</p>
<p>USEPA. 2021. Toxic substances control act reporting and recordkeeping requirements for perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances. https://www.regulations.gov/document/EP-AHQ-OPPT-2020-0549-0001</p>	<p>2021</p>	<p>"una struttura che contiene l'unità $R-CF_2-CF(R')(R'')$, dove R, R' e R'' non sono uguali a "H" e il legame carbonio-carbonio è saturo (nota: ramificazione, eteroatomi e strutture cicliche sono inclusi)."</p>
<p>USEPA. 2022. Drinking Water Contaminant Candidate List 5-Final. Federal Register 87(218): 68060-68085. Washington, DC.</p>	<p>2022</p>	<p>"Ai fini del CCL 5, la definizione strutturale di sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS) comprende sostanze chimiche che contengono almeno una di queste tre strutture: $R-(CF_2)-CF(R')R''$, dove entrambe le porzioni CF_2 e CF sono carboni saturi e nessuno dei gruppi R può essere idrogeno $R-CF_2OCF_2-R'$, dove entrambe le porzioni CF_2 sono carboni saturi, e nessuno dei gruppi R può essere idrogeno $CF_3C(CF_3)RR'$, dove tutti gli atomi di carbonio sono saturi e nessuno dei gruppi R può essere idrogeno."</p>

<p>TURA. 2023. Guidance for Reporting Per- and Poly-Fluoroalkyl Substances (PFAS) under the Toxics Use Reduction Act (TURA), including Individually Listed PFAS and the Certain PFAS Not Otherwise Listed (NOL) Category.</p> <p>https://www.turi.org/content/download/13942/220270/file/Guidance+for+Reporting+of+PFAS+under+TURA+March+2023.pdf</p>	<p>2023</p>	<p>“Alcuni PFAS, non altrimenti elencati, includono quei PFAS che contengono una porzione perfluoroalchilica con tre o più atomi di carbonio ($-C_nF_{2n-}$, $n \geq 3$; or $CF_3-C_nF_{2n-}$, $n \geq 2$) o una porzione perfluoroalchiletere con due o più atomi di carbonio ($-C_nF_{2n}OC_mF_{2m-}$ or $-C_nF_{2n}OC_mF_m$, n and $m \geq 1$), in cui per le strutture di esempio mostrate il trattino () non è un legame con un idrogeno e può rappresentare una struttura diritta o ramificata, che non è altrimenti elencata.”</p>
--	-------------	--

L'OECD ha precisato che: “La logica alla base della revisione è quella di avere una definizione generale di PFAS che sia coerente e uniforme tra i composti dal punto di vista della struttura chimica e che sia facilmente implementabile per distinguere tra PFAS e non PFAS, anche da parte di non esperti. La decisione di ampliare la definizione rispetto a Buck *et al.* non è collegata alle decisioni su come i PFAS dovrebbero essere raggruppati in azioni normative e volontarie”. (OECD, 2021 p. 8).

Si tratta quindi di composti caratterizzati da una catena alchilica lineare o ramificata, di lunghezza variabile alla cui estremità si può legare un gruppo funzionale polare (principalmente carbossilato, sulfonato o fosfato) e presentano proprietà di tensioattivi cationici, anionici o neutri.

La catena può essere perfluorata, ovvero del tutto satura di atomi di fluoro, o polifluorurata, non del tutto satura di atomi di fluoro, inoltre assumendo una lunghezza mutevole questi composti si comportano in maniera differente nelle diverse matrici ambientali.

Marchetti *et al.* (2012)⁷ specificano infatti che: “La catena carboniosa può essere totalmente o parzialmente fluorurata: nel primo caso si parla di PFC (perfluorinated compounds), come, per esempio, l'acido perfluorottanoico (PFOA) e il perfluorottan sulfonato (PFOS), mentre le molecole parzialmente fluorurate vengono denominate fluoro-telomeri ($F(CF_2)_n-CH_2CH_2-R$) e sono stati identificati come precursori di PFC, facili da trovare in molti comparti ambientali.

La classe dei PFAS (per- e polifluoroalchilici) è estremamente ampia e comprende un gran numero di composti. Nel 2022, erano stati identificati migliaia di PFAS diversi: secondo il *National Institute of Environmental Health Sciences* (NIH) americano che prende i dati dall'Agenzia Americana per la Protezione dell'Ambiente (EPA) sarebbero quasi 15 mila.⁸ Mentre secondo quanto riporta l'Agenzia

⁷ https://www.soc.chim.it/sites/default/files/chimind/pdf/2012_8_128_ca.pdf

⁸ <https://comptox.epa.gov/dashboard/chemical-lists/PFASSTRUCT>

per l'Ambiente delle Nazioni Unite (UNEP), sarebbero circa 4.800 i composti identificati dall'OECD (OECD 2018).

È necessario visualizzare il collocamento delle sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS) all'interno dei composti organofluorurati (Figura 1).

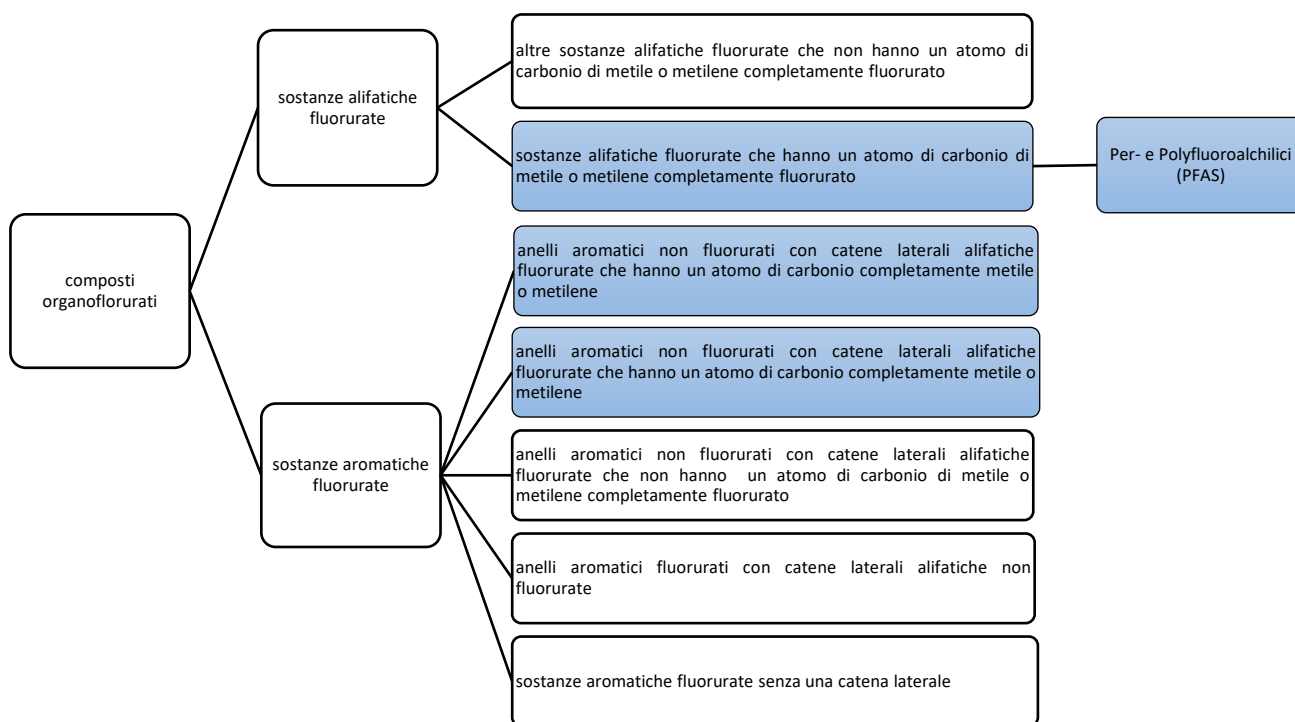


Figura 1 PFAS all'interno dei composti organofluorurati (Fonte: ns rielaborazione)

Ai fini dell'analisi dei PFAS è però necessario procedere ad una loro classificazione sotto il profilo della loro composizione chimica. Si distinguono infatti due classi all'interno della famiglia dei PFAS (Figura 2): PFAS polimerici e PFAS non polimerici.

Alla classe dei PFAS polimerici corrispondono le sottoclassi:

- I fluoropolimeri contengono una struttura polimerica di solo carbonio con il fluoro direttamente legato al carbonio. Possono includere polimeri come politetrafluoroetilene PTFE, etilene tetrafluoroetilene ETFE, etilene propilene fluorurato FEP e paraformaldeide PFA, che storicamente venivano realizzati utilizzando coadiuvanti tecnologici come perfluorotannoato di ammonio (APFO) o perfluorotannoato di sodio (NaPFO), sali dell'acido perfluorotannoico (PFOA). I fluoropolimeri includono anche il polivinilidene fluoruro (PVDF), che storicamente veniva prodotto utilizzando il perfluorononanoato di ammonio

(APFN), il sale di ammonio dell'acido perfluorononanoico (PFNA) (OCSE 2015; Buck *et al.* 2011).

I fluoropolimeri specifici PTFE, FEP, ETFE e PFA sono stati definiti “polimeri a basso rischio” (“*low concern*” PLC) dai seguenti studi. Henry *et al.* (2018) difatti osserva che questi specifici fluoropolimeri abbia o un peso molecolare elevato, siano estremamente stabili ed è stato dimostrato che il PTFE non fosse biodisponibile. Si ritiene che i polimeri “*low concern*” comportino rischi minimi per l'ambiente o la salute una volta inseriti in un prodotto di consumo e, sulla base di ciò, Henry *et al.* (2018) suggeriscono che questi dovrebbero essere considerati separatamente dagli altri PFAS nella valutazione del rischio.

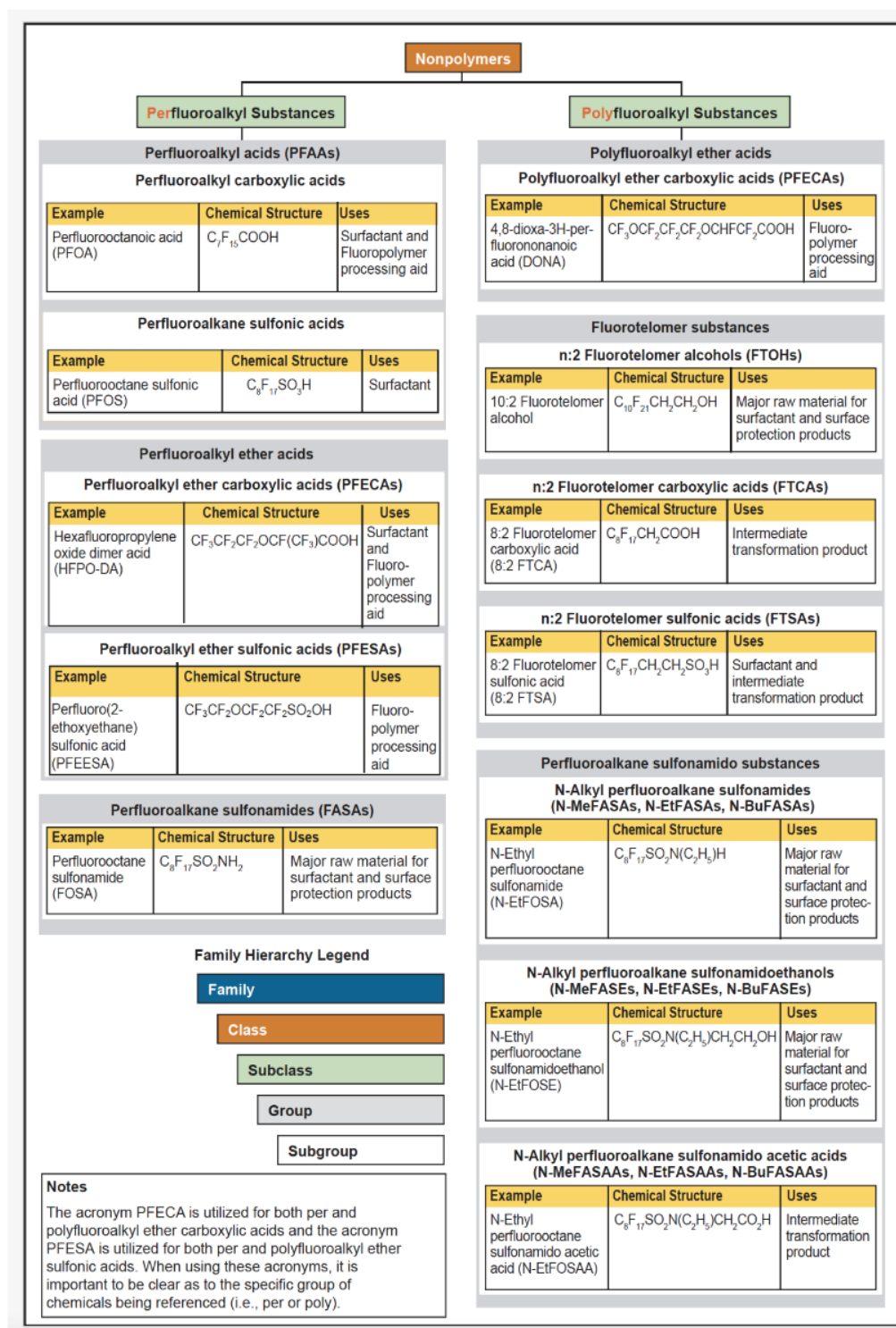
Un ulteriore studio, Korzeniowski *et al.* (2023), descrive la composizione, gli usi, le proprietà prestazionali e le funzionalità di 14 fluoropolimeri, inclusi fluoroplastici e fluoroelastomeri, e i dati presentati dimostrano che questi possono essere considerati polimeri a basso rischio. Inoltre, come per lo studio analizzato in precedenza i risultati mostrano che i fluoropolimeri sono un gruppo distinto che non dovrebbe essere raggruppato con altri PFAS per la valutazione dei rischi o per scopi normativi.

Tuttavia, durante la produzione di alcuni di questi fluoropolimeri, i PFAS non polimerici vengono usati come coadiuvanti tecnologici (“*processing aids*”) che successivamente si possono ritrovare in alcuni prodotti fluoropolimerici (CalEPA 2018; [Sezione 5.4.5](#)). Per questo motivo, al fine di prevenire potenziali rilasci di coadiuvanti PFAS non polimerici e sottoprodotti sono necessari controlli ambientali durante la produzione e l'ulteriore lavorazione dei fluoropolimeri.

Lo studio Lohmann *et al.* 2020, contrariamente agli studi citati poco prima, ha rilevato invece che non vi erano prove sufficienti per considerare i fluoropolimeri come poco preoccupanti (“*low concern*”) per l'ambiente e la salute umana e che al gruppo di fluoropolimeri non dovrebbe essere concessa un'esonazione generale dalla revisione normativa. Infatti, secondo Lohmann *et al.* (2020), la valutazione e la gestione dei prodotti fluoropolimerici dovrebbero considerare l'intero ciclo di vita, comprese le emissioni associate durante la produzione e lo smaltimento.

- I perfluoropolieteri polimerici (PFPE) contengono una struttura polimerica di carbonio e ossigeno con gli atomi di fluoro direttamente legati al carbonio. Si sa relativamente poco su queste sostanze chimiche presenti nell'ambiente.
- I polimeri fluorurati a catena laterale contengono una struttura polimerica non fluorurata, dalla quale si diramano le catene laterali fluorurate. Questi PFAS includono polimeri di uretano

fluorurato, polimeri di acrilato/metacrilato fluorurati e polimeri di ossetano fluorurato. Alcuni polimeri fluorurati a catena laterale possono diventare precursori di PFAA (Sezione 2.2.3.1) mediante trasformazione, quando il punto di connessione di una catena laterale fluorurata su un polimero viene rotto per rilasciare un PFAA, o mediante rilascio di residui di monomero fluorurato, o entrambi.



Family Hierarchy Legend

- Family
- Class
- Subclass
- Group
- Subgroup

Notes
The acronym PFECA is utilized for both per and polyfluoroalkyl ether carboxylic acids and the acronym PFESA is utilized for both per and polyfluoroalkyl ether sulfonic acids. When using these acronyms, it is important to be clear as to the specific group of chemicals being referenced (i.e., per or poly).

Figura 2 Classificazione dei PFAS non polimerici nei corrispondenti gruppi e sottogruppi (Fonte: <http://dx.doi.org/10.1002/ieam.258>)

Come descritto dalla Figura 2 all'interno della classe dei PFAS non polimerici possiamo trovare la sottoclasse dei perfluoroalchilici che viene classificata nei seguenti gruppi:

- Acidi perfluoroalchilici PFAAs, queste risultano essere le molecole più studiate e vengono classificate come sostanze altamente persistenti, bioaccumulabili e tossiche (OECD 2013). Tra questi, ad esempio, troviamo come sottogruppi gli acidi perfluoroalchil carbossilici (PFCAs), come l'acido perfluorooctanoico PFOA e gli acidi perfluoroalcansolfonici (PFSAs), come l'acido perfluorooctansolfonico PFOS;
- I perfluoroalcani sulfamidici FASAs.
- Acidi Perfluoroalchilici eteri, di cui fanno parte gli acidi perfluoroalchil carbossilici etere PFECAs e gli acidi perfluoroalchili etere solfonici PFESAs.

Possiamo inoltre trovare la sottoclasse dei polifluoroalchilici che si suddivide nei gruppi:

- Acidi polifluoroalchilici etero, di cui fanno parte gli acidi polifluoroalchil carbossilici etere (PFECAs).
- Le sostanze fluorotelomeriche come ad esempio l'alcol fluorotelomerico FTOH, l'acido carbossilico fluorotelomerico FTCA e l'acido fluorotelomero solfonico FTSA;
- Le sostanze perfluoroalcano sulfonammidi.

Tra i PFAS non-polimerici, l'OECD distingue i PFAS a catena lunga e a catena corta.

Gli acidi perfluoroalchilici a catena lunga fanno riferimento a:

- acidi perfluoroalchil carbossilici (PFCAs) con un numero ≥ 8 atomi di carbonio (con 7 o più atomi di carbonio perfluorurati) come il PFOA (8 atomi di C);
- acidi perfluoroalcansolfonici (PFSAs) con un numero ≥ 6 atomi di carbonio (con 6 o più atomi di carbonio perfluorurati) come il PFOS (8 atomi di C);
- sostanze che hanno la capacità di degradarsi in PFCAs o PFSA a catena lunga, ovvero precursori come PASF e composti a base di fluorotelomeri.

Allo stesso modo, l'OECD distingue i PFAS a catena corta:

- acidi perfluoroalchil carbossilici (PFCAs) con un numero di atomi di carbonio ≤ 7 (sei o meno carboni sono perfluorurati) come il PFBA (4 atomi di C)
- perfluoroalcano solfonati (PFSA) con un numero di atomi di carbonio ≤ 5 (cinque o meno carboni sono perfluorurati) come il PFBS (4 atomi di C).

Nel nostro studio prenderemo in considerazione il gruppo funzionale non polimerico dei PFAAs. Questi hanno formula (Panieri *et al.*,2022): $C_nF_{2n+1} - R$, dove R può corrispondere a gruppi

funzionali diversi, tra cui PFCA, acidi carbossilici ($C_nF_{2n+1}COOH$) e PFSA, acidi solfonici ($C_nF_{2n+1}SO_3H$). Queste due strutture corrispondono alle sostanze maggiormente analizzate e consumate negli ultimi 70 anni:

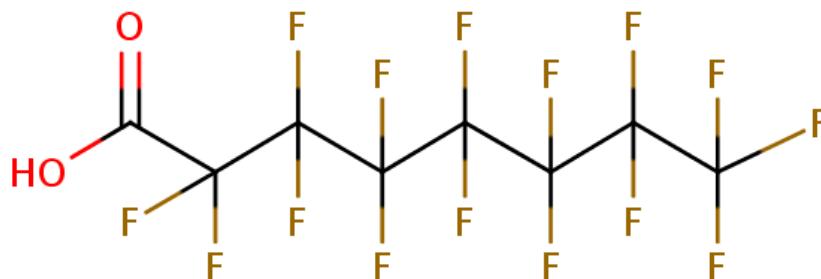


Figura 3 Acido perfluorottanoico, PFOA (Fonte: <https://sielc.com/pfoa>)

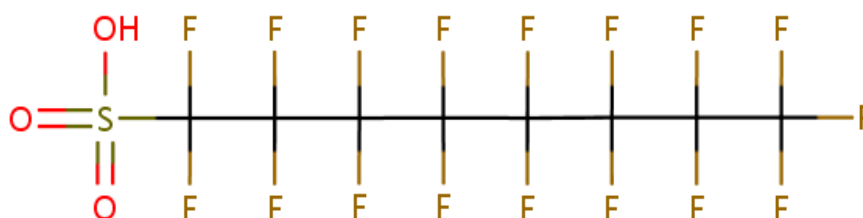


Figura 4 Acido perfluorottansolfonico, PFOS (Fonte: <https://sielc.com/pfos>)

Entrambe le sostanze vengono definite “perfluorate” poiché gli atomi di fluoro sono legati a tutti i possibili siti lungo la catena di carbonio, eccetto sull'ultimo carbonio in cui è legata la testa del gruppo funzionale. Una struttura di questo tipo che lega gruppi funzionali come carbossilico o acido solfonico dona alla sostanza proprietà rilevanti, tra cui l'oleorepellenza, l'idrorepellenza, la resistenza al calore e alle reazioni chimiche.

I PFAS: “[...] sono stati ampiamente utilizzati in vari settori in tutto il mondo (vedere Tabella 1 e 2), grazie alle loro proprietà quali proprietà dielettriche, resistenza al calore e agli agenti chimici, bassa energia superficiale e proprietà di basso attrito, ecc... Il legame carbonio-fluoro altamente stabile e le proprietà fisico-chimiche uniche dei PFAS rendono queste sostanze ingredienti preziosi per prodotti con elevata versatilità, resistenza, resilienza e durata, che offrono vantaggi a produttori e consumatori”. (OECD, 2013: p. 10 ns. traduzione). Purtroppo, sostanze come i PFAS non vengono metabolizzate ed eliminate efficacemente dall'organismo umano e tendono quindi ad accumularsi all'interno di esso (*bioaccumulation*).

2.3 Proprietà chimico – fisiche e fonti di esposizione

Tra i PFAA, gli acidi perfluoroalchil carbossilici e solfonici (PFCAs e PFSA) sono acidi “forti” poiché hanno una pK_a ⁹ stimata che si avvicina a zero per i PFCA e -1 per i PFSA; ciò comporta che saranno presenti nella loro forma ionica (dissociata) in condizioni normali (Walter Zirone, 2020 p. 20).

Inoltre, la catena perfluoralchilica è una delle strutture più idrofobiche e di conseguenza i gruppi funzionali anionici/acidi sono alcuni dei gruppi funzionali più idrofili conosciuti.

Il livello di idrofilia di ciascuna sostanza viene stimato in base al valore di $\log P_{ow}$ (coefficiente di ripartizione ottanolo/acqua)¹⁰:

Equazione 1 Coefficiente di ripartizione ottanolo/acqua

$$\log P_{ow} = \log \left(\frac{[soluto]_{ottanolo}}{[soluto]_{acqua}} \right)$$

I valori assunti da $\log POW$ sono tipicamente negativi per sostanze ad alto carattere idrofilo, mentre sono positivi e via via crescenti all'aumentare del carattere idrofobo (Hansch and Elkins, 1971).

L'acido perfluoroottanoico PFOA è stato sintetizzato e prodotto a partire dagli anni cinquanta, come altre PFC (sostanze chimiche perfluorate), tramite: (Post *et al.*, 2012)

- La fluorazione elettrochimica (EFC)¹¹ produce una miscela di composti inclusi isomeri ramificati, lineari e ciclici di varie lunghezze di catena.

⁹ La forza di un acido è espressa dalla costante, K_a , della reazione di dissociazione. Tale costante è detta costante di dissociazione acida. Valori molto alti ($\gg 1$) di K_a competono agli acidi forti; valori bassi (ma sempre positivi: $0 < K_a \ll 1$) competono agli acidi deboli. Poiché la forza dei diversi acidi varia in un intervallo estremamente ampio di K_a , da circa 10^{10} (acidi molto forti) a circa 10^{50} (acidi molto deboli), è conveniente esprimere la costante di dissociazione in forma logaritmica: $pK_a = -\log K_a$ (Fonte: Zanichelli, 2012).

¹⁰ Il rapporto di partizione ottanolo-acqua è il modo più comune per esprimere la lipofilità di un composto ed è definito come il rapporto tra la concentrazione di un soluto in una fase ottanolica satura di acqua e la sua concentrazione in una fase acquosa satura di ottanolo (Amézqueta, S., Subirats, X., Fuguet, E., Rosés, M., & Ràfols, C. (2020). Octanol-Water partition constant. In Elsevier eBooks (pp. 183–208). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816911-7.00006-2>).

¹¹ La fluorazione elettrochimica (ECF) è un processo che utilizza l'elettrolisi in acido fluoridrico anidro per introdurre atomi di fluoro in composti organici, creando perfluorurati. Durante il processo, è fondamentale che il fluoro sia l'unico anione in soluzione per evitare impurità. La fluorazione consente di mantenere intatti i gruppi funzionali del composto originale, ma può presentare basse rese e difficoltà nella purificazione dei prodotti, specialmente per applicazioni chimiche (Fonte: Conte & Gambaretto, 2003).

- La telomerizzazione¹² produce principalmente composti a catena lineare con un numero pari di atomi di carbonio, come il PFOA.

Un'ulteriore fonte di PFC nell'ambiente proviene dalla decomposizione di composti precursori¹³ come gli alcoli fluorotelomerici (FTOH), utilizzati a livello industriale e nei prodotti di consumo. Il PFOA si forma da questi composti attraverso la biodegradazione nel suolo, nei fanghi e nelle acque reflue e da reazioni chimiche in atmosfera. La creazione di PFOA da conversione anche di una piccola porzione di precursori aumenta in modo notevole la concentrazione di queste sostanze nelle matrici ambientali dove difficilmente vengono degradati (vengono definiti "inquinanti eterni").

Le proprietà chimico - fisiche dell'acido perfluorooctanoico PFOA differiscono da quelle di altri inquinanti organici persistenti e bioaccumulabili, come le diossine, i PCB (Policlorobifenili) e i pesticidi. Questi ultimi composti non vengono considerati contaminanti significativi in acque che devono essere rese potabili perché possiedono elevati coefficienti di ripartizione ottanolo/acqua $\log P_{ow}$ e quindi un'elevata affinità per i sedimenti e una bassa solubilità in acqua. Queste caratteristiche permettono, nel processo di trattamento delle acque per renderle potabili, di abbattere la loro presenza.

Al contrario il PFOA si distingue come importate composto organico persistente e bioaccumulabile nelle acque potabili, avendo infatti un limitato valore di $\log P_{ow}$ è quindi altamente solubile in questa specifica matrice ambientale.

Queste proprietà spiegano come il PFOA si possa propagare facilmente tra le diverse matrici ambientali.

Sono stati proposti due percorsi principali (Figura 5) per il trasporto a lungo raggio del PFOA, verso località remote in tutto il mondo.

¹²In chimica, l'insieme delle operazioni attraverso le quali si ottengono i telomeri (Fonte: <https://www.treccani.it/vocabolario/telomerizzazione/>). I telomeri in chimica organica sono polimeri formatosi attraverso la reazione di un composto (telogeno) capace di decomporsi in due radicali che si aggiungono alle due estremità di una catena costituita da un numero relativamente piccolo di molecole di un secondo composto (tassogeno); contrariamente al caso dei veri polimeri (in cui il numero delle molecole formanti la catena centrale è molto grande), nel telomero è ancora avvertibile il contributo dei gruppi terminali al suo comportamento chimico e alle sue proprietà. Molti telomeri costituiscono importanti intermedi nella preparazione di altri polimeri, tensioattivi, plastificanti (Fonte: <https://www.treccani.it/vocabolario/telomero/>).

¹³Una molecola si definisce precursore quando, in una reazione chimica, questa risulta essenziale per la formazione di un'altra molecola.

- Il primo percorso prevede il trasporto atmosferico di precursori volatili, come FTOH, seguito dall'ossidazione in PFOA che vengono poi depositati sul terreno o nell'acqua
- Il secondo percorso prevede il trasporto acquoso a lungo raggio dei carbossilati perfluorurati emessi come il PFOA nelle loro forme anioniche verso località remote mediante correnti sulla superficie dell'oceano (Post *et al.*,2012)

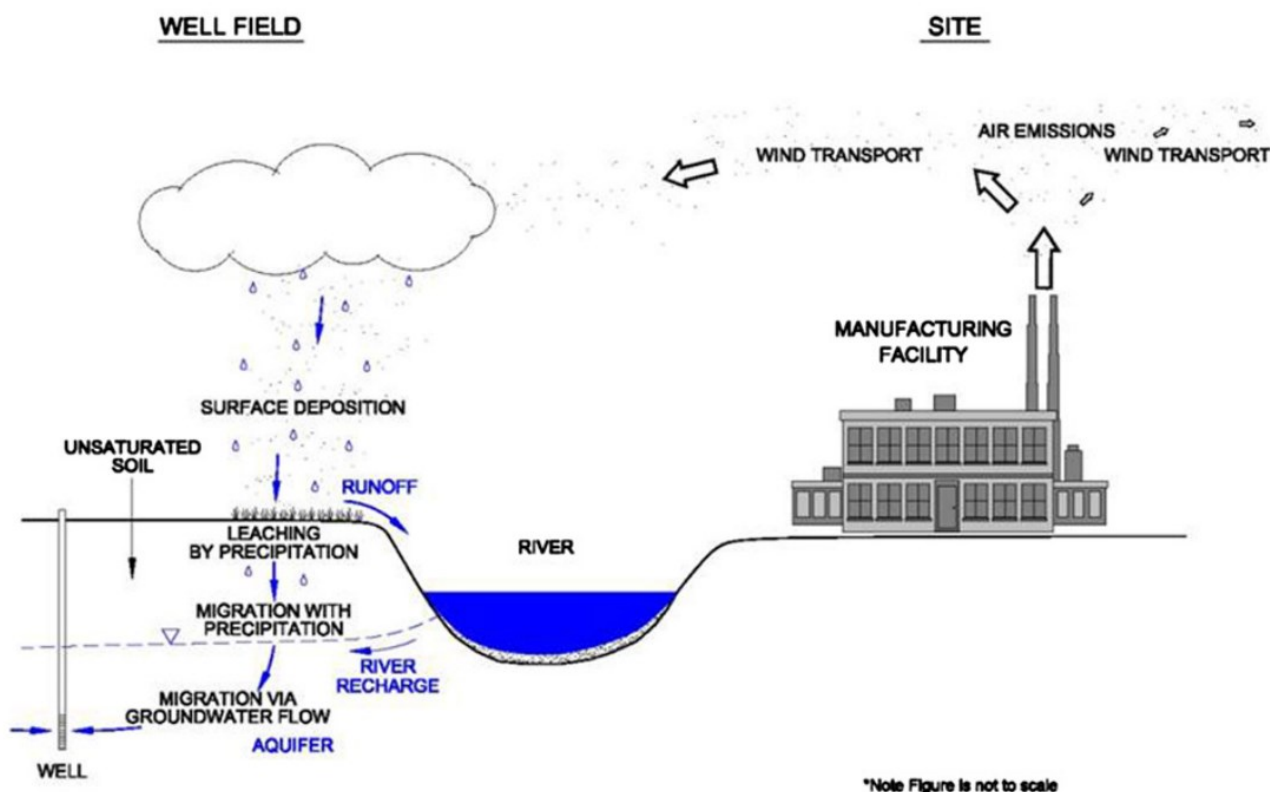


Figura 5 Trasporto del PFOA vicino alla fonte di scarico (Fonte: Post *et al.*,2012)

Ovviamente l'acqua potabile risulta essere un'importante fonte di esposizione umana, diversi studi suggeriscono infatti che l'esposizione continua, anche a basse concentrazioni di PFOA nell'acqua potabile (a causa della sua bioaccumulabilità), comporta un aumento del carico corporeo di questa sostanza che può aumentare il rischio di effetti sulla salute (Post *et al.*, 2012). Il rapporto concentrazione/dose non è del tutto affidabile nel momento in cui ad esempio per sostanze come il PFOA, classificato come "cancerogeno certo per l'uomo" (Gruppo 1) dallo IARC, non vengono fissati dei valori soglia (Zahm *et al.*, 2024).

Le fonti di esposizione al PFOA e/o ai suoi precursori includono acqua potabile, cibo e soprattutto il contatto tramite inalazione e ingestione del composto chimico presente in diversi prodotti di consumo utilizzati nel quotidiano (imballaggi alimentari, tessuti trattati, polvere domestica...) (Panieri *et al.*,2022).

Recentemente è stato stabilito che la dieta alimentare sia una fonte di esposizione molto importante, anche se le stime sono altamente incerte a causa della scarsità di dati sulle concentrazioni di PFOA negli alimenti (Genualdi *et al.*, 2021).

Genualdi *et al.* 2021, utilizza nel suo studio la raccolta dati del 2018 ottenuta dal Total Diet Study (TDS)¹⁴ della Food and Drug Administration (FDA) su 172 alimenti trasformati dei diversi negozi di alimentari in alcune regioni degli Stati Uniti. I risultati hanno confermato rilevamenti positivi di acido perfluorooctansolfonico (PFOS) e acido perfluorononanoico (PFNA) in bastoncini di pesce congelati, PFOS e acido perfluorodecanoico (PFDA) nel tonno in scatola e PFOS nelle proteine in polvere. Le concentrazioni erano tutte inferiori a 150 ppt e nessun altro rilevamento è stato confermato al di sopra dei limiti di rilevamento del metodo in altri alimenti.

Menzel 2021, conferma che all'interno di una popolazione generale la dieta è la principale fonte di esposizione a PFAS, soprattutto con fonti importanti nel pesce e nella carne. Poiché una dieta vegana implica la completa esclusione di qualsiasi prodotto animale, ci si potrebbe aspettare che i vegani abbiano livelli ematici di PFAS più bassi rispetto agli onnivori. Menzel per esaminare le relazioni tra i livelli di PFAS nei vegani e negli onnivori, utilizzò uno studio trasversale "Rischi e benefici di una dieta vegana" (RBVD)¹⁵ che coinvolse 36 vegani e 36 onnivori di Berlino, Germania. I risultati ottenuti sottolinearono come l'eliminazione di prodotti animali all'interno del piano alimentare, quindi una dieta vegana, potrebbe essere correlata a livelli più bassi di PFAS nel plasma.

Un'ulteriore fonte di esposizione proviene dall'inalazione di polvere domestica (aria interna alla casa), diversi studi hanno infatti riscontrato elevati livelli di PFOA e dei suoi precursori soprattutto in ambienti chiusi, come uffici, in cui erano presenti tessuti trattati, ovvero moquette e tappeti nuovi. I bambini, proprio per questo motivo, sono maggiormente esposti a sostanze come PFAS, sia ad esempio a causa del comportamento "mano alla bocca", che consegue una maggiore ingestione di

¹⁴ L'Autorità europea per la sicurezza alimentare (EFSA), l'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO) e l'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) hanno pubblicato congiuntamente una guida per un approccio armonizzato allo studio della dieta totale (TDS) e concludono che, insieme ad altri programmi di sorveglianza alimentare, il TDS è uno strumento efficace per stimare l'esposizione alimentare della popolazione a sostanze chimiche sia dannose che benefiche attraverso la dieta complessiva (Fonte:

<https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/111124#:~:text=A%20Total%20Diet%20Study%20%28TDS%29%20consists%20of%20selecting%2C,analysing%20them%20for%20harmful%20and%20For%20beneficial%20chemical%20substances.>)

¹⁵ Welkiert *et al.* 2020

polvere domestica, sia a causa dell'elevato periodo di tempo in cui si trovano stesi su tappeti da gioco o pavimentazione in cui appunto sono presenti tappeti trattati con PFOA (Rodgers *et al.*, 2022).

Proprio a causa delle precedenti dichiarazioni la produzione e l'uso del PFOA, dei suoi Sali e i composti correlati, è ad oggi vietata dal Regolamento POPs (Regolamento UE 2019/1021)¹⁶.

2.4 Utilizzi

I PFAS polimerici e non a partire dagli anni cinquanta sono stati ampiamente prodotti ed utilizzati nei diversi settori di tutto il mondo. In questo paragrafo andremo ad analizzare i principali usi storici e attuali dei PFAS, tra cui PFCA (acidi carbossilici), PFSA (acidi solfonici) e i loro potenziali precursori, fluorotelomeri e numerosi fuoropolimeri funzionali.

Queste sostanze vengono caratterizzate da una struttura in cui la maggior parte dei legami sono di tipo C-F (carbonio-fluoro), estremamente stabili, e con energia di legame [Kj/mol]¹⁷ pari a 440. Il forte legame C-F, conferisce difatti a queste sostanze una elevata stabilità termica e chimica; queste sono resistenti ad acidi e basi e a sostanze ossidanti/riducenti.

Inoltre, i PFAS a causa della loro natura idro e oleo-fobica sono impermeabili ad acqua e grassi, e vengono considerati perfetti come emulsionanti. Quest'ultimi sono sostanze che stabilizzano e rendono possibile l'unione tra sostanze inizialmente non miscelabili tra loro, come olio e acqua, e agendo da tensioattivo diminuiscono la tensione superficiale dei liquidi favorendo la bagnabilità a livello di interfaccia.

Nella tabella di seguito, Tabella 2, vengono riportate le proprietà chimico-fisiche per PFOS, acido perfluorooctansolfonico, e PFOA, acido perfluorooctanoico.

Tabella 2 Dati da Technical Fact Sheet (2017, US EPA) su PFOS e PFOA (Fonte: https://19january2021snapshot.epa.gov/sites/static/files/2017-12/documents/ffrrofactsheet_contaminants_pfos_pfoa_11-20-17_508_0.pdf)

Proprietà	PFOS	PFOA
-----------	------	------

¹⁶ Regolamento delegato (UE) 2020/784 della Commissione dell'8 Aprile 2020 che modifica l'allegato I del Regolamento (UE) 2019/1021 del Parlamento Europeo e del Consiglio per quanto riguarda l'elenco di acido perfluorooctanoico (PFOA), i suoi sali e composti correlati.

¹⁷ Nel caso di una molecola biatomica la «forza» di un legame viene identificata con l'energia richiesta per dissociare le molecole allo stato gassoso, cioè per rompere il legame tra due atomi: questa energia viene definita energia di legame (Fonte: Zanichelli, 2014).

Numero CAS	1763-23-1	335-67-1
Stato fisico (T e P ambiente)	Polvere bianca (sale di potassio)	Polvere bianca/solido bianco ceroso
Peso Molecolare (g/mol)	500	414
Solubilità in acqua a 25 °C (mg/l)	680	9500
Punto di fusione (°C)	-	54
Punto di ebollizione (°C)	258-260	192
Pressione di vapore a 25 °C	0,002	0,525
Coefficiente di Assorbimento Carbonio Organico (koc)	2,57	2,06

Le caratteristiche precedentemente descritte rendono queste sostanze componenti fondamentali per la produzione di articoli con elevata versatilità, resistenza, resilienza e durata, che offrono vantaggi a produttori e consumatori.

Le proprietà idro e oleo-repellenza son ben visibili all'interno della struttura di un polimero funzionale formatosi a partire da un acido perfluoroottansolfonico PFOS: la componente idrofila si lega al substrato mentre la catena fluorurata (componente PFAS) rimane esposta verso l'esterno e agisce da tensioattivo.

I polimeri funzionali prodotti a partire (funzionalizzati) da PFOS e/o PFOA, ovvero molecole a catena lunga dai 7 atomi di carbonio in su, mostrano maggiore affinità con le proprietà di idro e oleo-repellenza.

Purtroppo, come già anticipato, sostanze PFSA e PFCA a catena lunga come PFOS e PFOA portano a riscontrare diverse problematiche ambientali poiché tendono a bioaccumularsi negli organismi e bioamplificarsi all'interno della rete trofica.

A partire dagli anni 2000 a livello industriale per ridurre l'inquinamento ambientale si è cercato di produrre polimeri funzionali a partire da sostanze PFSA e PFCA a catena corta, come l'acido perfluorobutanoico PFBA (4 atomi di carbonio) e l'acido perfluorobutan-solfonico PFBS (4 atomi di carbonio), ovviamente il polimero funzionale prodotto a partire ad esempio da PFBA avrà minore affinità con la caratteristica di idro e oleo-repellenza tipica per queste sostanze.



Figura 6 Fonti principali dei PFAS (Fonte: <https://www.veggiechannel.com/natura/ambiente/verita-inquinamento-pfas-falde-acquifere-italia/>)

Di seguito vengono proposti alcuni dei più rilevanti utilizzi inerenti alle sostanze per- e polifluoroalchiliche (OECD 2013, Glüge *et al.*, 2020), tenendo conto che per alcuni di questi settori attualmente sono state individuate sostanze alternative meno impattanti e tossiche rispetto ai PFAS (ECHA 2023)¹⁸.

- **Aviazione, aerospaziale e difesa, cavi e cablaggi, motori**

I fluoropolimeri sono ampiamente utilizzati in vari componenti meccanici come, ad esempio, semiconduttori, cablaggi, tubi, tubazioni, guarnizioni, cavi, ecc... Il PTFE (politetrafluoroetilene) a causa delle sue proprietà dielettriche, la bassa infiammabilità e altre proprietà meccaniche viene usato nella produzione di cavi e fili per impianti di comunicazione, nelle reti dei computer, nelle automobili (sono molto resistenti al calore e all'olio motore) e nelle applicazioni aerospaziali. Se il PTFE viene esposto a un calore superiore a 618 °F (325°C, perderà la sua forma ed emetterà fumi leggermente tossici. Il PTFE ha anche una scarsa resistenza all'abrasione e ha un prezzo elevato poiché il recupero degli scarti non è possibile.

Il PCTFE¹⁹ è un'ottima alternativa al PTFE, questo difatti offre una combinazione unica di proprietà meccaniche e fisiche oltre alla resistenza chimica, eccellenti proprietà elettriche e

¹⁸ ECHA (2023) Annex XV Restriction Report: Proposal for a Restriction. DOSSIER SUBMITTERS: Federal Institute for Occupational Safety and Health, Bureau REACH, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), Swedish Chemicals Agency (KEMI), Norwegian Environment Agency, and The Danish Environmental Protection Agency VERSION NUMBER: 2, DATE: 22.03.2023)

¹⁹ <https://www.severna.com/the-best-alternatives-to-ptfe/>

non è infiammabile. Può essere applicato in compressori/pompe, valvole, guarnizioni, forme di riserva, applicazioni criogeniche ed è adatto per applicazioni di volo e aerospaziali.

Il clorotrifluoroetilene (E-CTFE) appartiene ai materiali termoplastici parzialmente fluorurati e può essere considerato un ottimo sostituto poiché è fisiologicamente sicuro, ha un'estrema resistenza chimica, un'elevata resistenza agli agenti atmosferici, è un materiale di alta qualità e ha bassa infiammabilità. Proprio grazie a queste proprietà il E-CTFE viene spesso utilizzato nell'industria chimica o in altri settori in cui è obbligatoria un'elevata resistenza alla corrosione (ad esempio nel rivestimento dei serbatoi di acciaio).

Un'ulteriore alternativa al PTFE tradizionale è l'etilene propilene fluorurato FEP, questo può essere fuso e lavorato mediante metodi di lavorazione termoplastici ed è disponibile sotto forma di tubi, fogli e barre. È un materiale termoplastico molto resistente all'usura, al calore, agli agenti atmosferici e ha una buona trasmittanza delle lunghezze d'onda. Viene quindi applicato nei fili e cavi, tra cui cavi per aeromobili, cavi plenum e altre tubazioni e apparecchiature per processi chimici.

Per quanto riguarda l'aviazione e l'industria aerospaziale non è stata approvata alcuna alternativa accettabile non PFAS, che vengono utilizzati, ad esempio, per scopi antierosione/anticorrosione nei sistemi idraulici, compresi i carrelli di atterraggio.

- **Settore Automobilistico**

I fluoropolimeri sono resistenti alla degradazione chimica, resistenti al calore, hanno basso attrito, sono antiaderenti, hanno bassa permeabilità e durabilità, per questi motivi vengono impiegati in larga scala in sistemi del veicolo (alimentazione, motore, gas di scarico, batterie, ecc..) dove si richiede resistenza a diversi tipi di stress.

I PFPE²⁰ sono polimeri liquidi, utilizzati prevalentemente come lubrificanti ad alte prestazioni in diversi settori, tra cui quello automobilistico.

Vengono utilizzati nel miglioramento di sistemi di erogazione del carburante e per prevenire infiltrazioni di benzina, ad esempio riducendo la vaporizzazione fugitiva dei gas di idrocarburi attraverso le pareti dei tubi di erogazione del carburante.

Esiste un'alternativa all'utilizzo di PFOA e ai suoi sali, il Dynasylan F8261²¹ che agisce come modificatore di superficie su substrati prevalentemente idrossifunzionali (ad esempio vetro,

²⁰I Perfluoropolietteri sono una classe particolare di PFAS polimerici, costituiti esclusivamente da carbonio, fluoro e ossigeno.

²¹ https://www.dynasylan.com/en/product/PR_52000758

ceramica). Può essere utilizzato anche come promotore di adesione tra materiali inorganici e fluoropolimeri (PTFE, fluorosiliconi ecc.) ed è un liquido incolore e inodore. Può essere diluito ad una proporzione di circa il 25% in peso in etanolo e vari altri solventi organici, ad es. n-esano, xilene, acetone o acetato di etile.

Sono disponibili alternative alle sostanze per- e polifluoroalchiliche per le auto elettriche e ibride²².

- **Biocidi**

La presenza di sostanze per- e polifluoroalchiliche nei pesticidi deriva dall'introduzione di uno o più gruppi trifluorometilici (-CF₃: forte legame carbonio-fluoro) nella loro struttura molecolare per aumentare e migliorare sia le proprietà idrorepellenti (idrofobiche) che repellenti (lipofobiche) della sostanza. Quest'ultima proprietà è molto apprezzata nell'industria dei pesticidi poiché fa sì che questi risultino efficaci per periodi più lunghi, diminuendo la frequenza dell'irrorazione delle colture.

I PFAS sono stati utilizzati come ingrediente nei pesticidi attivi e inerti (o inattivi). Gli ingredienti attivi sono quelli che uccidono l'organismo nocivo, mentre gli ingredienti inattivi aiutano l'ingrediente attivo aiutandolo a raggiungere o rimanere sulla superficie protetta.

I PFAS possono essere utilizzati come tensioattivi inerti nei prodotti antiparassitari, come disperdenti erbicidi e agenti bagnanti e aiutano la bagnatura e la penetrazione negli insetticidi. Gli acidi perfluoroalchilfosfonici e gli acidi perfluoroalchilfosfinici sono stati utilizzati come ingredienti inattivi di pesticidi. Vengono usati come agenti rompischiama per miscele erbicide, fungicide o insetticide in modo che, quando spruzzata, la foglia venga adeguatamente bagnata (Gaines, 2022).

Alcune delle sostanze attive PFAS approvate per l'uso in Europa sono:

- Beflubutamide: con periodo attuale di (ri)approvazione dal 01/12/2007 al 31/10/2026;
- Cyflumetofen: con periodo attuale di (ri)approvazione dal 01/06/2013 al 31/10/2025;
- Fluopicolide: con periodo attuale di (ri)approvazione dal 01/06/2010 al 31/08/2026;

Un recente studio danese conferma che 500 tonnellate di due pesticidi PFAS, diflufenican e fluopyram, sono state sparse nei campi coltivati del paese negli ultimi dieci anni (Sonne *et al.*, 2023).

²² <https://echa.europa.eu/documents/10162/f605d4b5-7c17-7414-8823-b49b9fd43aea>

- **Prodotti da costruzione**

I fluoropolimeri, come PTFE, sono ampiamente utilizzati come rivestimento resistente al fuoco o agli agenti atmosferici per materiali come tessuti di vetro, piastrelle, lastre di pietra, primer per legno e inchiostri, sistemi di protezione alla ruggine, cemento o metalli. Inoltre, composti a base di PASF e fluorotelomeri possono essere utilizzati come additivi miscelati nelle vernici dove è necessaria una tensione superficiale molto bassa. La proposta di restrizione (ECHA 2023) evidenzia che esistono alternative ai PFAS per rivestimenti e pitture architettoniche, per le membrane architettoniche, per i telai delle finestre, per sigillanti superficiali, per appoggi nei ponti ed edifici....

Le sostanze in alternativa per questa tipologia di utilizzo possono essere: solfosuccinati, polimeri siliconici, alcoli alifatici solfosuccinati e alcoli grassi etossilati (come agenti idrorepellenti per la protezione dalla ruggine)²³.

- **Settore Elettrico-Elettronico**

I materiali contenenti PFAS sono fondamentali per l'infrastruttura di produzione dei microprocessori utilizzati nei dispositivi elettronici ad alta tecnologia personali, industriali e professionali. Queste sostanze soddisfano le esigenze di complessità di progettazione in continua evoluzione nei semiconduttori per un'ampia gamma di dispositivi elettronici e il trasferimento di dati tra questi dispositivi.

Grazie alle loro proprietà offrono numerosi vantaggi in diversi settori, come:

- Utilizzo nella produzione di semiconduttori e celle fotovoltaiche: tubi, serbatoi, valvole, pompe, filtri, guarnizioni e contenitori per lo stoccaggio di fluidi;
- Pellicole di protezione e imballaggio di circuiti stampati;
- Display, touch screen, smartphones, rulli fotocopiatrici e alimentatori carta;
- Additivi anti goccia, facili da pulire e non adesivi per computer e altri dispositivi elettronici;
- Fili e cavi alta tensione, settore medicale, data center, settore automotive, comunicazione wireless.
- Componenti di apparecchiature elettrotecniche ed elettroniche: componenti elettronici, cuscinetti a sfera, cerniere, guarnizioni, tubi flessibili, rivestimenti antiaderenti, olii per compressori, ecc;
- Rivestimenti conformazionali di protezione e isolamento di schede elettroniche;

²³ <https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/reach/relazionefinalestudiopfas.pdf>

- Rivestimenti conformazionali con proprietà di barriera ai raggi UV, all'umidità e ai solventi.

- **Energia rinnovabile**

L'Etilene propilene fluorurato (FEP), venduto sotto il nome commerciale di Teflon FEP, viene utilizzato nel settore del fotovoltaico per coprire i collettori solari, al fine di migliorarne la resistenza agli agenti atmosferici.

L'eccellente resistenza chimica alla corrosione e all'abrasione dei fluoropolimeri svolge un ruolo importante nell'aumentare la durata dei componenti dei pannelli solari riducendo così i guasti e le interruzioni dovute alla manutenzione.

I PFAS vengono utilizzati per il trattamento del polisilicio durante la fase di produzione, ma non permangono nel prodotto finito. Questo materiale è difatti l'elemento chiave della tecnologia dei moduli fotovoltaici. Diversi studi (Pragyan *et al.*, 2024; *A review on the emergence of graphene in photovoltaics industry*, 2021) hanno dimostrato che il grafene potrebbe essere un'ottima alternativa al silicio nell'ambito dell'energia rinnovabile. In particolare, la struttura interna 2D del grafene risulta essere una protezione per i dispositivi fotovoltaici, garantendo stabilità a lungo termine contro lo stress degli agenti atmosferici.

I fluoropolimeri vengono utilizzati durante il funzionamento delle pompe di calore, proprio perché hanno una forte tenuta ad alte e basse pressioni/temperature e consentono di migliorare l'efficienza del macchinario.

Un'alternativa per le applicazioni a membrana delle celle a combustibile PEM sono le membrane a idrocarburi che hanno lo stesso potenziale ma durata inferiore.

Esistono anche alternative ai materiali di rinforzo da utilizzare all'interno delle celle a combustibile PEM che vanno a sostituirsi al PTFE, come i materiali di tipo polibenzimidazolo elettrofilati che sono privi di fluoro. Purtroppo, i tempi affinché le alternative diventino disponibili in commercio sono elevati e si prevede che l'uso commerciale non inizierà prima di 5-10 anni a partire dal 2022.

- **Lotta antincendio**

Vari composti a base di PFCA, PASF e fluorotelomeri (polimerici o non polimerici) sono stati sviluppati come ingredienti attivi (formatori di film, repellenti per combustibili o stabilizzanti di schiuma) per essere utilizzati in piccole quantità all'interno di schiume antincendio.

Le schiume antincendio possono essere schiume filmogene acquose (AFFF), schiume filmogene acquose resistenti all'alcool (AR-AFFF), schiume fluoroproteiche (FP) e fluoroproteine filmogene (FFFP), queste vengono utilizzate per estinguere gli incendi di petrolio e altri liquidi infiammabili. Le tipologie di schiume riportate qui sopra vengono utilizzate soprattutto nel momento in cui si devono trattare incendi in cui sono coinvolti olii infiammabili; difatti l'acqua non può essere usata a causa della maggiore densità rispetto al combustibile e andrebbe a sedimentare sotto di questo. L'utilizzo di acqua potrebbe portare alla fuoriuscita del combustibile; in aggiunta, le elevate temperature porterebbero l'acqua in ebollizione causando una risalita dei vapori che andrebbero ad alimentare sempre più l'incendio.



Figura 7 Utilizzo della schiuma antincendio (Fonte: <https://environmentamerica.org/articles/faa-action-on-pfas-has-our-spirits-flying-higher/>)

Secondo la *Fire Fighting Foam Coalition*, le schiume filmogene acquose (AFFF) vengono utilizzati principalmente in ambito militare, come antincendio per il salvataggio di aerei (ARFF), in ambito municipale (vigili del fuoco), nell'industria petrolchimica e nelle piattaforme petrolifere e nelle navi mercantili.

Attrezzature antincendio, compresi indumenti protettivi per i vigili del fuoco, possono essere trattate in superficie con polimeri fluorurati a catena laterale o realizzata con fluoropolimeri come PTFE.

Qui di seguito verranno elencati dei prodotti alternativi nelle schiume antincendio disponibili sul mercato UE.

All'interno dell'appendice 6 del ANNEX XV RESTRICTION REPORT SUBSTANCE NAME(S): *Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in firefighting foams*, viene inserito un elenco dei prodotti alternativi disponibili sul mercato dell'UE (Wood *et al.* 2020)²⁴.

- **Prodotti per la casa**

Sostanze per- e polifluoroalchiliche vengono utilizzate in molteplici applicazioni domestiche, ad esempio l'acido perfluorooctanoico PFOA è stato usato per molti anni dalla fabbrica DuPont²⁵ negli Stati Uniti per la produzione del Teflon, utilizzato poi nelle pentole antiaderenti proprio per conferire a queste la loro specifica proprietà di antiaderenza.

Ad oggi sul mercato sono disponibili alternative a queste tipologie di prodotto, come: padelle con rivestimenti “ceramici”, alluminio anodizzato e acciaio inossidabile.



Figura 8 Padella antiaderente (Fonte: <https://pxhere.com/it/photo/918920>)

Alcuni PFAS vengono impiegati invece come tensioattivi o agenti bagnanti nei detersivi, cere per pavimenti e vernici; mentre altri vengono aggiunti nei prodotti aftermarket (post-

²⁴ Wood (2020): The use of PFAS and fluorine-free alternatives in fire-fighting foams. Final report, Specific contracts No 07.0203/2018/791749/ENV.B.2 and ECHA/2018/561. Wood Environment & Infrastructure Solutions UK Limited, Report produced for European Commission DG Environment / European Chemicals Agency (ECHA). https://echa.europa.eu/documents/10162/28801697/pfas_flourinefree_alternatives_fire_fighting_en.pdf/d5b24e2a-d027-0168-cdd8-f723c675fa98.

²⁵ Nel 1938, Roy J. Plunkett, un chimico della E. I. du Pont de Nemours and Company, inventò accidentalmente “la sostanza più scivolosa sulla Terra”: il PTFE, il primo composto della famiglia dei prodotti chimici perfluorurati. o PFC, da commercializzare commercialmente. Brevettato come Teflon, è stato infine utilizzato in più di 3.000 prodotti: pentole antiaderenti, indumenti impermeabili, attrezzatura da campeggio e persino il filo interdentale (Fonte: https://static.ewg.org/reports/2015/poisoned_legacy/Poisoned_Legacy.pdf)

vendita), come spray idrorepellenti per abbigliamento e calzature, per trattare tessuti, tappezzerie, tappeti e pelle, al fine di conferire resistenza allo sporco e alle macchie.

Inoltre, vengono utilizzati anche nei packaging di plastica di tantissimi prodotti che ad oggi sul mercato possono essere sostituiti da rivestimenti in cere di polietilene e nitrato di boro.

- **Articoli medici**

I fluoropolimeri essendo non adesivi vengono identificati come adatti per camici e altri articoli medici. I tessuti di articoli medici, come teli e camici chirurgici, vengono trattati con polimeri fluorurati a catena laterale (come PASF) per modificare le superfici, al fine di garantire la resistenza ad acqua, olio e macchie.

Esistono però delle alternative per le applicazioni tessili mediche, ad esempio il poliuretano. I PFAS vengono utilizzati anche nei dispositivi medici impiantabili, tra cui occlusori cardiaci interventistici ed endoprotesi, innesti vascolari chirurgici, cerotti cardiovascolari, patch per il cuore o valvole cardiache impiantabili di tessuto, suture chirurgiche, applicazioni oftalmiche impiantabili, rete erniaria, endoscopi.

Nei dispositivi elettrochirurgici per la dissezione ad ultrasuoni o, più in generale, per trattamenti che prevedano lo scambio di energia.

Inoltre, vengono usati all'interno dei sistemi per la risonanza magnetica nucleare, dove il PTFE è utilizzato nei cavi e nelle guaine come agente isolante a basse temperature. I fluoropolimeri svolgono infatti un ruolo essenziale nel consentire l'imaging (tramite chip elettronici e semiconduttori in raggi X, risonanza magnetica, TC ed ecografia).

- **Settore farmaceutico**

Le sostanze PFAS trovano un ampio utilizzo nel settore farmaceutico: possono essere costituenti dei medicinali, sono parte di materiali e apparecchiature usati nella produzione farmaceutica, sono presenti in alcuni imballaggi primari, eccipienti e propellenti. La presenza del gruppo funzionale $-CF_2/CF_3$, per le sue caratteristiche chimiche, consente di ottimizzare parametri come la biodisponibilità, l'affinità di legame con il bersaglio terapeutico, l'eliminazione per catabolismo, conferendo quindi maggiore efficacia e sicurezza ai medicinali.

Vari tipi di fluoropolimeri utilizzati negli imballaggi primari (direttamente a contatto con il farmaco) proteggono i medicinali da aria, umidità, impurità e contaminanti, salvaguardando la qualità e la sicurezza dei prodotti per tutta la durata di conservazione.

Principali applicazioni: produzione di principi attivi farmaceutici, eccipienti in prodotti farmaceutici, propellenti per inalatori predosati (MDI), apparecchiature di produzione farmaceutica, materiali di consumo monouso (filtri, sacchetti, tubi), apparecchiature analitiche di laboratorio (tubi, valvole, guarnizioni, filtri), produzione chimica di principi attivi farmaceutici (API) contenenti PFAS, materiali e reagenti PFAS utilizzati nelle attività di controllo qualità richieste da normative, refrigeranti in apparecchiature per riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria (HVAC) e refrigerazione a bassa temperatura, confezionamento di prodotti medicinali (blister, bustine, tubi o altri contenitori di metallo o plastica, tappi di fiale).

- **Placcatura metalli**

PFAS non polimerici (come i sali di potassio, litio e ammonio di PFOS) sono stati utilizzati come tensioattivi, agenti bagnanti e agenti anti-appannamento sia per i processi di cromatura decorativa che di cromatura dura. Il recente sviluppo tecnologico sull'utilizzo del cromo trivalente (III) al posto del cromo esavalente (VI) ha reso non necessario l'uso dei PFOS nella cromatura decorativa mentre per la placcatura dura, il cromo trivalente non funziona e per questa applicazione viene ancora utilizzato il PFOS.

- **Produzione petrolifera e mineraria**

PFAS non polimerici come i composti a base di PASF e i sali di PFOS sono stati utilizzati come tensioattivi nell'industria del petrolio e mineraria per migliorare le prestazioni dei fluidi di estrazione, per aumentare l'efficienza dell'estrazione di petrolio e gas, e per aumentare l'efficienza nell'estrazione di rame e oro.

- **Carta e imballaggi**

Sono tre le tipologie di PFAS applicate nell'industria della carta e dell'imballaggio: polimeri fluorurati a catena laterale in cui gli alcoli a base di PASF o fluorotelomeri, i loro esteri acrilati o metacrilati sono legati alle catene laterali; sali di esteri fosforici prodotti attraverso l'esterificazione di PASF- o alcoli a base di fluorotelomeri con acido fosforico; perfluoropolieteri. Il trattamento delle superfici con queste sostanze conferisce proprietà oleorepellenti e idrorepellenti ai prodotti in carta e cartone, compresi quelli a diretto contatto con gli alimenti.

Ad esempio, la carta da forno e i cartoni della pizza vengono rivestiti superficialmente da sostanze come i PFOA.

Esistono delle alternative fisiche a base di cellulosa da utilizzare ad esempio nella produzione della carta da forno e negli imballaggi del cibo per animali; oppure per i rivestimenti di cibi freddi può essere utilizzata anche la pergamena vegetale.

Ovviamente polistirolo e plastica possono essere utilizzati come sostituti degli imballaggi alimentari in carta e cartone per molte applicazioni ma alcune plastiche possono essere trattate tramite PFAS. Tuttavia, si cerca di ridurre o eliminare l'uso di questi materiali per il cibo da asporto per motivi di non sostenibilità.

Altre alternative fisiche alla carta PFAS utilizzata nell'imballaggio e nel consumo alimentare sono l'erba dell'elefante, foglie di palma, bambù, argilla e paglia.

Se parliamo di alternative chimiche possiamo trovare i prodotti barriera TopScreen™²⁶²⁷. Le formulazioni TopScreen™ sono utilizzate negli imballaggi alimentari e sono biopolimeri sintetici a base di acqua o biocere a base di olio vegetale (che conferiscono proprietà di idro e oleorepellenza). Inoltre, le formulazioni TopScreen™ conferiscono resistenza all'umidità del vapore acqueo, proprietà particolarmente importante nell'imballaggio di fast food come gli hamburger per evitare che il vapore acqueo fuoriesca dal panino e non renderlo secco.

Ovviamente in commercio sono già presenti utensili da cucina, stampi da forno e rivestimenti superficiali su carta da forno per alimenti prodotti in silicone (alternativa chimica efficace ai PFAS).

- **Produzione di polimeri**

I sali di ammonio (in alcuni casi anche i sali di sodio) dei PFCA a catena lunga come PFOA e PFNA sono stati utilizzati come emulsionanti a basse concentrazioni nella polimerizzazione di alcuni fluoropolimeri (ad esempio PTFE, FEP, PFA e PVDF).

- **Semiconduttori**

²⁶ OECD (2020), PFASs and Alternatives in Food Packaging (Paper and Paperboard) Report on the Commercial Availability and Current Uses, OECD Series on Risk Management, No. 58, Environment, Health and Safety, Environment Directorate, OECD.

²⁷ <https://www.solenis.com/en/research-and-development/innovations/topscreen-water-repellent-barrier-coatings/>

I fluoropolimeri vengono usati per produrre componenti utilizzati poi per condurre liquidi e gas corrosivi nell'industria dei semiconduttori. Piccole quantità di PFOS sono utilizzate in applicazioni di fotolitografia nella produzione di chip a semiconduttore.

Ad oggi non esistono alternative per gli usi precedentemente elencati a causa delle proprietà chimiche necessarie nel processo di produzione dei semiconduttori.

- **Settore rifiuti e riciclo**

Uno dei settori chiave della transizione ecologica e della economia circolare è quello dei rifiuti e riciclo/riuso dei materiali. Anche se alcune sostanze vengono vietate, o limitate nei processi produttivi, esse saranno ancora presenti nei rifiuti, dopo molti anni, a seconda della durata del ciclo di vita dei prodotti. La presenza degli inquinanti come PFOA e PFOS, nei profili analitici dei rifiuti può richiedere processi di decontaminazione e trattamento molto costosi, o richiedere estesi piani di monitoraggio. Al fine di applicare il miglior trattamento di gestione dei rifiuti, le informazioni condivise a proposito delle sostanze pericolose sono essenziali. Quindi, lo scambio di informazioni e l'eventuale informazione dal produttore su come il prodotto può (e dovrebbe) essere trattato in modo sicuro alla fine del suo ciclo di vita può essere molto importante per la filiera di gestione del rifiuto ed il suo successivo riutilizzo, come materiale *End of Waste*.

- **Tessili, pelletteria, tappeti, abbigliamento e tappezzeria**

I PFAS vengono coinvolti nell'ambito tessile in due modi:

- I tessuti altamente porosi (ad esempio Gore-Tex®) sono preparati mediante un processo basato sulla fibrillazione del PTFE ad elevata massa molecolare. Tessuti poi ampiamente utilizzati nell'abbigliamento da esterno e negli accessori da campeggio, grazie alla loro elevata permeabilità al vapore acqueo, ma non all'acqua liquida.
- Polimeri fluorurati a catena laterale (PASF) sono utilizzati come finiture per modificare le superfici di materiali mirati (come tessuti, tappeti, pelle, ecc.), al fine di conferire resistenza all'acqua, all'olio, allo sporco e alle macchie.

Le finiture vengono applicate ai prodotti negli stabilimenti/concerie e come applicazioni post-vendita.

All'interno del settore tessile per la casa, (lenzuola, federe, trapunte, asciugamani, tovaglie, tendaggi, tappeti...), dell'abbigliamento di consumo, dell'abbigliamento tecnico da outdoor, dell'abbigliamento sportivo e della pelletteria esistono delle alternative, già disponibili sul

mercato, che sono dendrimeri, miscele ibride silicone/idrocarburo, poliuretani, siliconi e idrocarburi.

2.5 Implicazioni tossicologiche ed effetti sulla salute

Le proprietà chimico-fisiche dei PFAS permettono di definire queste come “inquinanti eterni” a causa della loro elevata resistenza e persistenza alla degradazione.

La resistenza chimica viene definita²⁸ come la capacità di una sostanza di resistere all'attacco chimico per un determinato periodo di tempo. Pertanto, i materiali con elevata resistenza chimica hanno meno probabilità di degradarsi.

La valutazione di persistenza di una sostanza si basa su informazioni sulla degradabilità espressa in emivita²⁹, ovvero “*half-life*”. La Persistenza di una sostanza riflette³⁰:

- la potenzialità di un'esposizione a lungo termine degli organismi alla sostanza;
- la potenzialità di una sostanza di raggiungere l'ambiente marino e di essere trasportato in aree remote.

I rilasci nell'ambiente si verificano durante la produzione, l'uso e lo smaltimento di materiali contenenti PFAS (ad esempio le emissioni di PFOA provengono principalmente dalla sua produzione e utilizzo nel fabbricare prodotti fluoropolimerici (Prevedouros *et al.*, 2006), mentre le emissioni di PFOS provengono dal suo rilascio durante l'uso di prodotti di consumo e industriali (Armitage *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2017).

Le vie di esposizione più rilevanti che collegano l'emissione di PFAS da fonti primarie/secondarie ai recettori umani (lavoratori o popolazione generale) includono l'inalazione di aria, particolato e polvere, l'ingestione di acqua potabile e alimenti contaminati e l'adsorbimento cutaneo. Gli studi affermano che le esposizioni quotidiane tramite inalazione e contatto cutaneo risultano essere più rilevanti quando ci troviamo in ambito domestico (DeLuca *et al.*, 2020).

²⁸ Capitolo 2 - Polymers-based nanocomposite coatings, 2.1.2.3 Chemical resistance, p. 11, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815884-5.00002-8>

²⁹ Termine che indica il tempo necessario perché, nell'organismo vivente, la quantità o la concentrazione o l'attività di una sostanza, soggetta a trasformazione, decomposizione o decadimento, si riduca alla metà di quella iniziale (Fonte: <https://www.treccani.it/enciclopedia/emivita/>).

³⁰ <https://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00003300/3345-c2507-m2-u4.pdf>

Ovviamente l'utilizzo di acqua contaminata da PFAS evidenzia il potenziale di queste sostanze di entrare e accumularsi attraverso la catena alimentare, portando infine al consumo umano. L'entità di bioaccumulo dei PFAS varia, infatti, tra piante e animali diversi, determinando effetti diversi lungo tutta la catena alimentare (Ghisi *et al.*, 2019; Goodrow *et al.*, 2020).

L'esposizione diretta si verifica utilizzando prodotti contenenti PFAS come cosmetici o abbigliamento, ingerendo alimenti prodotti con acqua contaminata o confezionati in imballaggi contaminati, mentre l'esposizione indiretta avviene tramite l'assunzione di precursori, quali ad esempio i fluorotelomeri (FTOH), che vengono biotrasformati in PFAS all'interno del nostro organismo (Marchisio *et al.*, 2022³¹).

I PFAS sono assorbiti rapidamente all'interno dell'organismo poiché si legano alle proteine del plasma e non vengono metabolizzati, tenderanno quindi ad accumularsi nel plasma, nel fegato e in minor misura nel rene. Vengono eliminati grazie ai reni, ma nella specie umana l'eliminazione risulta molto lenta, perché una volta filtrati nelle urine subiscono un processo di riassorbimento che li riporta in circolo. Il riassorbimento è dovuto all'attività di trasportatori (che normalmente lavorano per recuperare molecole "utili" all'organismo), che sono sotto il controllo ormonale. Il tempo di dimezzamento (o emivita) nell'uomo è in media di 5,4 anni per il PFOS e di 3,8 anni per il PFOA.³²

EFSA (Autorità Europea per la Sicurezza Alimentare) il 17 Settembre del 2020 ha annunciato la pubblicazione finale del suo ultimo parere scientifico sul rischio per la salute umana derivante dalla presenza di sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS) negli alimenti³³. È stata stabilita una soglia di assunzione settimanale tollerabile (TWI) di 4,4 ng/kg di peso corporeo (pc) a settimana, definita per quattro differenti PFAS: l'acido perfluorooctanoico (PFOA), l'acido perfluorooctansolfonico (PFOS), l'acido perfluorononanoico (PFNA) e l'acido perfluoroesano solfonico (PFHxS). Il precedente parere del 2018 stabiliva TWI distinti per PFOS e PFOA; tuttavia, l'agenzia ha affermato di aver ora rivalutato questi valori considerando l'esposizione combinata a molteplici sostanze chimiche³⁴.

³¹ [6560-Articolo-20460-1-10-20220214 \(2\).pdf](#)

³² https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/reach/Crebelli_PFAS.pdf

³³ *Outcome of a public consultation on the draft risk assessment of perfluoroalkyl substances in food*, European Food Safety Authority, 2020.

³⁴ <https://www.efsa.europa.eu/en/news/pfas-food-efsa-assesses-risks-and-sets-tolerable-intake>.

La dose settimanale tollerabile (TWI) viene definita come «*estimate of the amount of a potentially harmful substance (e.g., a contaminant) in food or drinking water that can be ingested weekly over a lifetime without appreciable health risk*»³⁵.

Quindi il TWI è l'assunzione massima di sostanze negli alimenti, come nutrienti o contaminanti, che possono essere consumate settimanalmente nel corso della vita senza rischiare effetti negativi sulla salute. Il TWI dovrebbe essere riservato ad una sostanza quando esiste una tolleranza ben consolidata e accettata a livello internazionale, supportata da dati solidi.

Al pari di molte altre sostanze chimiche, i PFAS producono un'ampia gamma di effetti negativi sulla salute a seconda delle modalità di esposizione e dei fattori associati agli individui esposti (età, sesso, etnia, stato di salute e predisposizione genetica) (Fenton *et al.*, 2020).

- **Dislipidemia:**

Molti degli studi epidemiologici effettuati per indagare gli effetti tossici dei PFAS si sono concentrati sul legame tra concentrazioni di queste sostanze e il livello di colesterolo. Secondo l'EFSA,³⁶ viene definita come “forte” la correlazione fra ipercolesterolemia (eccesso di colesterolo nel sangue) ed esposizione ad alcune sostanze per- e polifluoroalchiliche, come PFOA, PFOS³⁷, PFNA, PFDeA.

Batzella (2022) effettua uno studio trasversale partendo da dati prelevati durante il programma di sorveglianza sanitaria lanciato nella Regione Veneto nel 2017³⁸. La popolazione target era composta da un totale di 34.633 soggetti, di età compresa tra i 20 e i 64 anni (18.320 femmine e 16.313 maschi). Dall'analisi è emerso che l'esposizione a PFAS, in particolare le esposizioni a PFOS e PFNA³⁹, presenta un'associazione significativa con i parametri lipidici sierici nella popolazione adulta altamente esposta. La miscela dei quattro PFAS (PFOA, PFOS, PFNA e

³⁵ *Glossary of Terms Used in Toxicology, 2nd Edition, IUPAC Recommendations 2007.*

³⁶ EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (EFSA CONTAM Panel), Schrenk D, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, Del Mazo J, et al. Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA J Eur Food Saf Auth* 2020;18:e06223. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223>.

³⁷ Cheng *et al.*, 2022 conferma che i livelli plasmatici di PFOA e PFOS possono essere significativamente associati a livelli elevati di colesterolo totale (TC) e colesterolo lipoproteico a bassa densità (LDL) e che l'esposizione a PFOA e PFOS altera la metilazione del DNA.

³⁸ Programma di screening offerto dalla Regione ai residenti di 30 comuni esposti a PFAS attraverso l'acqua potabile contaminata dal 2013.

³⁹ Acido perfluorononanoico.

PFHxS⁴⁰) con concentrazioni più elevate è stata associata positivamente al colesterolo totale TC, colesterolo lipoproteico ad alta densità HDL-C e sul colesterolo lipoproteico a bassa densità LDL-C. Questi risultati suggeriscono che la valutazione dell'esposizione multi chimica potrebbe caratterizzare meglio la loro reale tossicità rispetto alla valutazione dell'esposizione a un singolo prodotto chimico, poiché i PFAS si presentano come miscele nell'ambiente (Batzella *et al.*, 2022)⁴¹.

- **Cancerogenità:**

L'agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha classificato nel novembre 2023 l'acido perfluorooottansolfonico PFOS come “possibile cancerogeno per l'uomo” (gruppo 2B), mentre l'acido perfluorooottanoico PFOA come “cancerogeno certo per l'uomo” (gruppo 1); esposizione continua anche a basse concentrazioni di queste sostanze possono difatti aumentare il rischio di cancro⁴².

Bartell e Vieira (2021) hanno effettuato una revisione riassumendo gli studi epidemiologici eseguiti sull'associazione tra PFOA e il cancro ai reni e testicoli. Hanno svolto una meta-analisi ad effetti casuali per stimare l'aumento medio del rischio di cancro riportato dagli studi con informazioni sufficienti per stimare il PFOA sierico. I risultati hanno confermato che l'aumento relativo medio del rischio di cancro per un aumento di 10 ng/ml del PFOA sierico per questi studi è del 16% per il cancro del rene e del 3% per cancro ai testicoli (i risultati sono limitati dal numero limitato di studi sul cancro ai testicoli, dalla sovrapposizione delle popolazioni di studio per diversi studi e dalla mancanza di concentrazioni sieriche di PFOA misurate o modellate per diversi studi) (Bartell *et al.*, 2021).

Ulteriori studi negli anni hanno attestato come evidente un'associazione casuale tra l'acido perfluorooottanoico e il cancro ai reni e ai testicoli (Barry *et al.*, 2013; Steenland *et al.*, 2020; Steenland *et al.*, 2021).

⁴⁰ Acido perfluoroesansolfonico.

⁴¹ Batzella, E., Jeddi, M. Z., Pitter, G., Russo, F., Fletcher, T., & Canova, C. (2022). *Associations between Mixture of Perfluoroalkyl Substances and Lipid Profile in a Highly Exposed Adult Community in the Veneto Region. International Journal of Environmental Research and Public Health/International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), 12421. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912421>

⁴² <https://monographs.iarc.who.int/news-events/volume-135-perfluorooctanoic-acid-and-perfluorooctanesulfonic-acid/>

Il potenziale dei PFAS nel produrre un'ampia gamma di effetti negativi sulla salute dipende da diversi fattori, come ad esempio le condizioni di esposizione (durata, via di esposizione, ecc.) e le caratteristiche personali del bersaglio esposto (età, sesso, etnia, stato di salute e predisposizione genetica).

- **Anomalie endocrine:**

I PFAS possono essere classificati come interferenti endocrini, per cui i soggetti esposti dovrebbero essere affetti da varie anomalie funzionali o manifestazioni cliniche a carico degli organi endocrini, ma ad oggi sono necessari ulteriori studi per chiarire il meccanismo della tossicità endocrina dei PFAS (Mokra 2021; Kar *et al.*, 2017).

L'acido perfluorooottanoico PFOA e l'acido perfluorooottansolfonico PFOS sono stati classificati come interferenti endocrini⁴³. Gli interferenti endocrini sono una vasta categoria di molecole di sostanze che alterano la normale funzionalità ormonale dell'apparato endocrino, ostacolando il legame tra l'ormone e il recettore. Le lesioni che colpiscono il sistema endocrino comprendono anomalie dello sviluppo, processi infiammatori che possono essere infettivi o autoimmuni, ipofunzione con atrofia o iperfunzione causata da iperplasia secondaria a patologia in altre sedi e neoplasie di molti tipi (Asa *et al.*, 2023).

Averina (2023), effettua uno studio trasversale nella Norvegia settentrionale su un target di 921 adolescenti (tra i 15 e 19 anni) e un controllo di 117 soggetti. Dall'analisi è emerso che nelle ragazze i PFAS totali (PFOA, PFOS, PFNA, PFDA) venivano associati positivamente al deidroepiandrosterone solfato (DHEA)⁴⁴. Nei ragazzi invece le associazioni con il precedente rapporto sono risultate positive per PFAS totali, mentre si è riscontrata una associazione negativa alla tiroxina libera e alla triiodotironina libera. La concentrazione sierica dell'ormone paratiroideo (PTH) era associata negativamente ai PFAS totali, all'acido perfluoroesano sulfonato (PFHxS) nelle ragazze e ai PFOS nei ragazzi. In entrambi i sessi non è stata trovata alcuna associazione di PFAS con il testosterone sierico, l'ormone follicolo-stimolante o l'ormone luteinizzante (Averina *et al.*, 2023).

⁴³ Gore, A.C., La Merrill, M.A., Patisaul, H.B., and Sargis, R. *Endocrine Disrupting Chemicals: Threats to Human Health*. *The Endocrine Society* and IPEN. February 2024

⁴⁴Il deidroepiandrosterone (3 β -idrossi-5-androsten-17-one, DHEA, PubChem CID 5881) è uno steroide derivato dal colesterolo sintetizzato nella zona reticolare della corteccia surrenale, nelle cellule della teca ovarica, nelle cellule di Leydig nei testicoli e nel cervello (Clark *et al.*, 2018).

- **Tireopatia:**

La coorte dello studio trasversale di Gallo (2021), è stata selezionata all'interno del programma di sorveglianza sanitaria istituito nell'area di massima esposizione sanitaria da PFAS della regione Veneto⁴⁵). Da dicembre 2016 il programma ha come obiettivo quello di contattare un totale di circa 80 mila persone residenti nell'area contaminata e nate tra il 1951 e il 2002. Su un totale di circa 80 mila persone Gallo (2021) considera un campione di 21.424 soggetti (14.888 adulti e 6.536 adolescenti). Dall'analisi è stato riscontrato che le concentrazioni di TSH (ormone stimolante la tiroide) sono leggermente inferiori per i maschi rispetto alle femmine e per gli adulti rispetto agli adolescenti. I risultati suggeriscono che i PFAS nel complesso non esercitano un forte effetto significativo sui livelli di TSH nella popolazione altamente esposta, solamente tra gli adulti di sesso maschile sono state osservate tendenze decrescenti dei livelli di TSH nell'intervallo inferiore delle concentrazioni sieriche di PFOA, PFOS e PFHxS. Tra le donne adulte e tra gli adolescenti sia maschi che femmine, non è stata riscontrata alcuna associazione delle concentrazioni di TSH con alcun congenere PFAS (Gallo *et al.*, 2021).

- **Epatopatie:**

La connessione fra esposizione a PFAS ed epatopatie è suggerita dall'aumento degli enzimi sierici e dalla diminuzione dei livelli sierici di bilirubina (PFOA, PFOS) e dall'aumento di incidenza di mortalità per cirrosi epatica nei lavoratori.

Girardi *et al* (2019) nel suo studio esamina l'associazione tra esposizione a sostanze polifluoroalchiliche e mortalità in una coorte di 462 uomini che lavorarono per la fabbrica MITENI⁴⁶. I dipendenti sono stati classificati: per probabilità di esposizione a PFAS e per terzili delle concentrazioni sieriche di PFOA. In una frazione di 120 lavoratori sul totale le misurazioni della concentrazione sierica interna di PFOA sono state utilizzate per prevedere una concentrazione sierica cumulativa di PFOA di ciascun membro della coorte. I tassi di mortalità sono stati confrontati con quello della popolazione regionale utilizzando il rapporto di mortalità standardizzato (SMR) e con quello dei lavoratori di una vicina fabbrica metalmeccanica in termini di rapporto di rischio (RR), attraverso categorie di probabilità di esposizione a PFAS e terzili di concentrazioni sieriche cumulative di PFOA.

⁴⁵ <https://sian.aulss9.veneto.it/index.cfm?method=mys.apridoc&iddoc=800>

⁴⁶ Fabbrica situata a Trissino, nel Veneto, che produceva acido perfluorooctanoico PFOA e acido perfluorooctansolfonico PFOS dal 1968.

I risultati dello studio riscontrarono che la concentrazione sierica interna di PFOA tra 120 lavoratori nel periodo 2000-2013 era molto elevata e che la mortalità dei soggetti era aumentata per cancro al fegato, neoplasie maligne del tessuto linfatico ed ematopoietico. Nel confronto con la coorte di lavoratori della fabbrica metallurgica, i rapporti di rischio per la mortalità della coorte erano aumentati per numerose cause, tra cui la cirrosi epatica (Girardi *et al.*, 2019).

- **Immunotossicità:**

L'acido perfluorooctanoico e l'acido perfluorottanosolfonico vengono classificati come potenti immunosoppressori in vitro e negli animali di laboratorio (DeWitt *et al.*, 2018; NTP (National Toxicology Program) 2016).

Steenland (2018) ha reclutato i soggetti per il suo studio tra coloro che si sono recati presso le cliniche e ambulatori dell'*Emory Healthcare* (Atlanta, Georgia) e che si sono offerti volontari per la ricerca (dal 1999 al 2012). Sono state misurate concentrazioni di PFOA e PFOS nel siero di 114 pazienti affetti da colite ulcerosa, 60 pazienti affetti dal morbo di Crohn e 75 soggetti di controlli, entro un anno dalla diagnosi. Dallo studio è emerso che il livello medio di PFOA nei pazienti con colite ulcerosa era più alto del 38% rispetto al gruppo combinato di pazienti affetti da morbo di Crohn e i soggetti di controllo. Lo studio è limitato dal non sapere se l'elevato PFOA abbia preceduto la diagnosi di colite ulcerosa in questa popolazione (Steenland *et al.*, 2018).

Lo studio, Xu (2020), mirava ad indagare l'associazione tra PFAS e le malattie infiammatorie intestinali (IBD) clinicamente diagnosticati nella coorte di Ronneby, Svezia. La popolazione in analisi è soggetta ad una elevata esposizione a PFAS (in particolare PFOS e PFHxS elevati) a causa della schiuma acquosa filmogena presente nelle acque potabili. Il campione venne composto da tutte le persone che risedevano nel comune di Ronneby per almeno un anno tra il 1980 e il 2013 (n = 63 074). L'esposizione annuale all'acqua potabile contaminata è stata valutata sulla base degli indirizzi residenziali e dei dati di fornitura dell'acquedotto, e la popolazione è stata classificata in base ai periodi iniziale, medio e finale in livello di contaminazione crescente. I risultati dello studio hanno evidenziato l'assenza di aumento del rischio di malattie infiammatorie intestinali, pur in presenza di segni di laboratorio di infiammazione cronica intestinale (Xu *et al.*, 2020).

Secondo l'EFSA la letteratura supporta che l'esposizione a PFOA e PFOS sono potenti immunosoppressori, ovvero portano ad una diminuzione delle risposte anticorpali a diversi vaccini, con aumento del rischio di una ridotta resistenza alle infezioni. Il sistema immunitario

viene infatti considerato uno dei principali organi bersaglio di queste sostanze, soprattutto quando parliamo di bambini/neonati e persone anziane⁴⁷.

- **Tossicità riproduttiva:**

Studi sugli ormoni sessuali hanno confermato che sostanze tossiche come i PFAS possono produrre effetti negativi sul sistema riproduttivo umano.

Nel loro studio, Xie e Weng (2021), hanno valutato la relazione tra l'esposizione ai PFAS e gli ormoni sessuali, tra cui il testosterone totale (TT), il testosterone libero (FT), l'estradiolo (E) e le globuline leganti gli steroidi sessuali (SHBG). I dati dello studio trasversale sono stati prelevati da un'indagine sviluppata tra il 2015 e il 2016 del *National Institutes of Health* (NIH), Stati Uniti. (9.544 persone sono state esaminate in totale)⁴⁸.

Da un campione di partenza di 9.544 soggetti sono stati esclusi i partecipanti che presentavano valori mancanti dai loro esami fisici, PFAS e misurazioni degli ormoni steroidei sessuali, salute riproduttiva o cotinina. Eseguite tutte le dovute esclusioni, rimaneva un campione analitico di 1868 partecipanti, di cui 964 maschi e 922 femmine. Dall'analisi è emerso che le esposizioni a PFOS e PFHxS erano significativamente associate all'aumento delle concentrazioni sieriche di testosterone nei maschi. Inoltre, le esposizioni a PFOA e PFOS erano correlate positivamente con i livelli di FT nelle donne di età compresa tra 20 e 49 anni, mentre l'esposizione a PFOS era negativamente associata ai livelli di TT nelle ragazze di 12-19 anni. L'esposizione a PFAS era associata negativamente ai livelli di estradiolo e l'esposizione a PFOS è stata associata positivamente ai livelli di SHBG negli uomini di età superiore ai 20 anni e in tutte le donne. Utilizzando un'ampia popolazione di età compresa tra 12 e 80 anni, si è scoperto che l'esposizione ai PFAS altera gli ormoni sessuali in modo specifico per sesso, età e composto chimico (Xie *et al.*, 2021).

Anomalie dello sperma nei giovani sono state associate ai livelli di uno o più PFAS nel sangue materno prelevato durante la gravidanza nello studio di Hærvig e Petersen (2022). Lo studio ha eseguito l'analisi su dati della coorte *Fetal Programming of Semen Quality* (FEPOS) raccolti tra il 2017 e 2019 in Danimarca. La popolazione in analisi era di 864 uomini (tra i 19 e 21 anni) e i

⁴⁷ EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (EFSA CONTAM Panel), Schrenk D, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, Del Mazo J, *et al.* Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. EFSA J Eur Food Saf Auth 2020;18:e06223. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223>.

⁴⁸ <https://www.cdc.gov/nchs/nhanes/continuousnhanes/Overview.aspx?BeginYear=2015>

campioni di plasma delle loro madri, principalmente del primo trimestre, sono stati recuperati dalla biobanca nazionale danese. Nei giovani sono stati valutati la qualità dello sperma, il volume testicolare e i livelli di ormoni riproduttivi e i PFAS. L'esposizione materna combinata ai PFAS è stata associata a una concentrazione spermatica, conta totale degli spermatozoi e una percentuale più elevata di spermatozoi non progressivi e immobili nei giovani. I risultati confermano associazioni inverse coerenti tra l'esposizione ai PFAS materni e la qualità dello sperma (Hærving K. *et al.*, 2022).

- **Esiti materno-fetali:**

La presenza di PFAS nel cordone ombelicale e nella placenta di donne in gravidanza può provocare problemi nello sviluppo del feto e nella donna in gravidanza.

Lo studio Bommarito (2021), ha esaminato le associazioni tra PFAS, qualsiasi diagnosi di preeclampsia⁴⁹ e preeclampsia ad esordio precoce e tardivo. Questo studio trasversale ha effettuato l'analisi su una popolazione di 75 soggetti e una popolazione controllo di 75 soggetti, campionati dalla coorte di nascita LIFECODES. Nove PFAS preesistenti sono stati quantificati nel plasma materno fin dall'inizio della gravidanza (10 settimane). I risultati hanno confermato che sia l'acido perfluorodecanoico che l'acido perfluoroottansolfonico erano associati a probabilità più elevate di preeclampsia a esordio tardivo, mentre le associazioni tendevano ad essere al di sotto del valore nullo per la preeclampsia ad esordio precoce (Bommarito *et al.*, 2021).

Studi recenti confermano che l'esposizione ai PFAS durante la gravidanza potrebbe portare a un aumento del rischio di preeclampsia (Hirke *et al.*, 2023; Ge *et al.*, 2024).

Johnson (2014), ha applicato la metodologia di revisione sistematica della Guida di Navigazione per determinare se l'esposizione durante lo sviluppo all'acido perfluoroottanoico (PFOA) influisce sulla crescita fetale negli esseri umani. Dopo un'attenta ricerca sono stati identificati 18 studi sull'uomo che soddisfacevano i criteri di inclusione e 9 di questi sono stati combinati attraverso

⁴⁹ La preeclampsia è l'insorgenza ex novo o il peggioramento dell'ipertensione esistente con proteinuria dopo la 20a settimana di gestazione. L'eclampsia è rappresentata da inspiegabili crisi convulsive generalizzate in pazienti con preeclampsia. La preeclampsia colpisce il 3-7% delle donne in gravidanza. La preeclampsia e l'eclampsia si sviluppano dopo la 20a settimana di gestazione; fino al 25% dei casi si manifesta nel post-partum, il più delle volte entro i primi 4 giorni dopo il parto, ma talvolta fino a 6 settimane dopo (Fonte: <https://www.msdmanuals.com/it-it/professionale/ginecologia-e-ostetricia/anomalie-della-gravidanza/preeclampsia-ed-eclampsia>).

una metanalisi. Questa ha stimato che un aumento di 1 ng/ml del PFOA sierico o plasmatico era associato a una differenza di -18,9 g nel peso alla nascita (Johnson *et al.*, 2014).

Inoltre, Manea (2020) conferma che vivere in un'area contaminata da PFAS (nello studio viene presa in analisi un'area di 200 km² tra le provincie di Verona, Vicenza e Padova) può influenzare la crescita fetale e che l'esposizione a PFAS sia un fattore di rischio la SGA (*Small for Gestational Age*, ovvero un neonato piccolo per l'età gestazionale)⁵⁰. Il campione ha incluso tutti i nati vivi (105.114) segnalati all'anagrafe della Regione Veneto tra il 2003 e il 2018 da madri che vivevano nell'aria contaminata e in un 'area di controllo. L'incidenza di SGA grave è stata del 3,44% nell'area contaminata e del 2,67% nell'area di controllo. L'analisi multivariata ha confermato che vivere nell'area contaminata aumenta significativamente la probabilità di grave SGA (Manea *et al.*, 2020).

2.6 Conclusioni

In conclusione al capitolo, si può confermare come lo studio delle sostanze per e polifluoroalcaliche sia molto complesso ed ancora ad oggi in fase di indagine. Composti come PFOA e PFOS sono stati ampiamente utilizzati a partire dagli anni Cinquanta nei più diversi ambiti industriali proprio per le loro proprietà chimico-fisiche. A causa della loro natura idro e oleo-fobica che li rende impermeabili ad acqua e grassi, i PFOA e PFOS vengono considerati degli ottimi tensioattivi e utilizzati come emulsionanti. Il loro utilizzo spazia in ambiti tra loro molto diversi, come: energia, schiume antincendio, articoli medici, prodotti per la casa, pelletteria, ecc.. Per questo motivo, e soprattutto perché si tratta di sostanze altamente persistenti, la loro contaminazione da anni viene riscontrata in tutto il globo e il pericolo e la preoccupazione per i PFAS ad oggi è sempre più forte. Attraverso gli studi epidemiologici citati all'interno del capitolo, possiamo confermare come questa tipologia di composti sia attualmente uno dei più rilevanti problemi per l'inquinamento ambientale e per gli effetti avversi che possono provocare sull'uomo.

⁵⁰ Un neonato con peso inferiore rispetto al 90% dei bambini della stessa età gestazionale alla nascita (al di sotto del 10° percentile) si definisce piccolo per l'età gestazionale (Fonte: <https://www.msmanuals.com/it-it/casa/problemi-di-salute-dei-bambini/problemi-general-dei-neonati/neonato-piccolo-per-l-et%C3%A0-gestazionale-sga>).

CAPITOLO 3

INQUADRAMENTO NORMATIVO

3.1 Introduzione

Grazie alla scoperta delle sostanze per- e polifluoroalchiliche, nel 1938, e grazie soprattutto alla loro elevata persistenza e resistenza, queste sono state utilizzate a partire dagli anni Cinquanta nei più svariati settori (Glüge *et al.*, 2020).

Ad oggi, dopo decenni di contaminazione ambientale e l'accertamento degli effetti avversi riscontrati sull'uomo⁵¹, queste sostanze risultano essere tra le problematiche più discusse a livello globale.

In questo capitolo andremo ad analizzare i diversi approcci normativi adottati dai paesi dell'Unione Europea e dagli organismi internazionali rispetto alle sostanze per- e polifluoroalchiliche, considerando come questa tipologia di composti sia difficile da inquadrare a causa della loro ubiquità, eterogeneità e peculiarità di caratteri e proprietà.

Tra gli atti internazionali che incidono sulla regolazione di questi composti chimici vanno menzionati la Convenzione di Rotterdam adottata nel 1998 ed entrata in vigore nel 2004, inoltre va ricordata la Convenzione di Stoccolma sugli inquinanti organici persistenti (POPs) del 2001, che ha come obiettivo l'eliminazione e la diminuzione dell'uso dei POPs⁵².

A livello europeo un ruolo centrale è svolto da EFSA, l'Autorità Europea per la Sicurezza Alimentare, che fornisce consulenze scientifiche sui rischi connessi all'alimentazione, pubblica pareri sui rischi alimentari attuali ed emergenti che confluiscono nella legislazione, nelle regolamentazioni e nelle strategie politiche europee.

In ambito europeo le sostanze chimiche vengono disciplinate tramite il regolamento (CE) n. 1907/2006 che si occupa della registrazione, valutazione, l'autorizzazione e la restrizione di queste,

⁵¹Nel 2023, lo IARC, *International Agency of Research on Cancer*, classifica l'acido perfluottanoico PFOA come cancerogeno certo per l'uomo (Gruppo 1) e l'acido perfluorooottansolfonico PFOS come possibile cancerogeno per l'uomo (Gruppo 2B)(Fonte:<https://monographs.iarc.who.int/news-events/volume-135-perfluorooctanoic-acid-and-perfluorooctanesulfonic-acid/>).

⁵²Il primo Regolamento, ora abrogato, che ha implementato nell'ordinamento europeo la Convenzione POPs è il Regolamento CE n. 850/2004 poi sostituito dal Regolamento (CE) n. 2019/1021 che si integra col Regolamento REACH n. 1907/2006. In Italia la Convenzione è stata oggetto di specifico atto di ratifica, la legge 12 luglio 2022 n. 93.

ovvero il Regolamento REACH; mentre il Regolamento CLP (*Classification, Labelling and Packaging*) n. 1272/2008/CE, ha l'obiettivo di facilitare la libera circolazione, all'interno dell'Unione Europea, delle sostanze, delle miscele e degli articoli nonché garantire un elevato livello di protezione della salute dell'uomo e dell'ambiente

Il quadro dei PFAS è oggetto di ulteriori regolamentazioni e direttive europee a carattere settoriale, inerenti la qualità e la protezione delle diverse tipologie di acque, le acque destinate al consumo umano e i contaminanti alimentari, la gestione e smaltimento dei rifiuti.

3.2 Diritto Internazionale ed Europeo

Nel 1938 Roy J. Plunkett, chimico ricercatore presso la ditta statunitense DuPont, e il suo assistente di laboratorio Jack Rebok scoprirono accidentalmente il politetrafluoroetilene (PTFE), che prese poi il nome di Teflon. Negli anni a venire furono inventati ulteriori composti facenti parte di questa famiglia, come l'acido perfluorooctanoico PFOA nel 1947 (utilizzato all'interno della produzione di Teflon) e l'acido perfluorooctansolfonico PFOS nel 1953.

A partire dagli anni cinquanta, i processi industriali in cui i PFAS vennero impiegati furono moltissimi grazie alla loro resistenza e alla loro scarsa affinità sia con acqua sia con i grassi; infatti uno degli usi più diffusi dei PFAS si ebbe fin da subito all'interno della produzione di schiuma acquosa filmogena (AFFF). Si tratta di un prodotto chimico antincendio sviluppato da 3M⁵³ e dalla Marina Militare degli Stati Uniti negli anni Sessanta, che contiene numerosi PFAS, di cui PFOS e perfluoroesano sulfonato (PFHxS) sono tra i più diffusi. (IPEN 2019).

Sebbene ad oggi alcuni composti appartenenti alla famiglia dei PFAS siano stati identificati come persistenti, bioaccumulabili e tossici, per decenni sono stati lodati per la loro capacità di proteggere i vigili del fuoco e il personale militare attraverso queste tipologie di schiume antincendio potenziate che estinguono gli incendi e prevengono la riaccensione (Place *et al.*, 2012). Tuttavia, l'uso di PFAS nelle schiume antincendio e negli scarichi da siti industriali ha portato a una diffusa contaminazione da queste sostanze attraverso la fornitura idrica globale (Domingo *et al.*, 2017; Bach *et al.*, 2017).

Per quanto concerne gli effetti determinati dall'impiego di tali composti chimici, per decenni, la 3M ha sospettato che i PFAS fossero dannosi per gli animali e che potessero bioaccumularsi all'interno

⁵³ 3M Co. è un'azienda tecnologica fondata nel 1902, Minnesota (USA), che produce prodotti industriali, di sicurezza e di consumo. Opera attraverso i seguenti segmenti: Sicurezza e industriale, Trasporti ed elettronica, Assistenza sanitaria e Consumatori (https://www.3m.com/3M/en_US/company-us/about-3m/history/).

del corpo umano; agli inizi degli anni ottanta, infatti, anche i militari iniziarono a rendersi conto della pericolosità delle AFFF⁵⁴. Lo studio Gaber, 2023, ha dimostrato, attraverso la pubblicazione di documenti interni alle aziende, come 3M e DuPont fossero già state a conoscenza della dannosità delle sostanze PFAS per la salute umana. I documenti riportarono infatti che la DuPont dichiarava che il Teflon, prodotto dal PFOA, doveva essere maneggiato “con estrema cura” e che “il contatto con la pelle doveva essere rigorosamente evitato” (Gaber *et al.*, 2023).

A partire dal 1998, la causa intrapresa dall'agricoltore Wilbur Tennant (originario della Virginia Occidentale) confermò che aziende come la DuPont, contribuirono attivamente alla contaminazione da PFAS in ambiente. Tennant si accorse infatti di una improvvisa moria all'interno della sua mandria di circa 300 vacche, che lo portò ad indagare su uno dei tanti stabilimenti chimici DuPont collocato nei pressi della sua proprietà. L'agricoltore riteneva infatti che questa dilavasse l'acqua contaminata attraverso un tubo di scarico nel ruscello da cui le sue mucche si abbeveravano e che inoltre inquinasse l'acqua del fiume Ohio. Nel 1999, insieme all'avvocato ambientale Rob Billot, venne avviata la prima causa in assoluto per danni derivanti da sostanze chimiche prodotte dall'impianto, ovvero i PFAS⁵⁵.

Negli ultimi decenni, la presenza di numerosi PFAS a catena lunga (PFOA, PFOS, PFNA e PFHxS) è stata misurata sia all'interno della popolazione generale degli Stati Uniti, rivelando la presenza di queste sostanze nel 98% del campione, sia in altri paesi industrializzati (Kato 2015; OECD 2018⁵⁶). È certo però che le concentrazioni di PFAS (in particolare PFOS) nel sangue della popolazione statunitense siano diminuite costantemente dal 2000 (ATSDR 2020⁵⁷), grazie all'eliminazione volontaria dei prodotti chimici perfluorooctanilici da parte dei produttori e impianti più importanti.

⁵⁴“For Decades, Polluters Knew PFAS Chemicals Were Dangerous But Hid Risks From Public (<https://www.ewg.org/pfastimeline/>),” Environmental Working Group; “Mapping PFAS Chemical Contamination At 206 U.S. Military Sites (<https://www.ewg.org/research/pfas-chemicals-contaminate-us-military-sites>),” Environmental Working Group

⁵⁵ <https://time.com/6292482/legal-liability-pfas-chemicals-lawsuit/>

⁵⁶OECD. 2018. Toward a New Comprehensive Global Database of Per- And Polyfluoroalkyl Substances (PFASs): Summary Report on Updating the OECD 2007 List of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) ENV/JM/MONO(2018)7. Paris: Health and Safety Division Environment, OECD.

⁵⁷ <https://www.atsdr.cdc.gov/pfas/health-effects/us-population.html>

La 3M, il 16 maggio 2000, annunciò difatti di interrompere la produzione PFOS⁵⁸, e cessò la produzione di AFFF⁵⁹. La prima conferma della pericolosità di questi composti, infatti, si ebbe nel 2002, quando l'Organizzazione per la Cooperazione economica lo sviluppo (OCSE) pubblicò la sua valutazione del rischio per l'acido perfluorottano solfonico (PFOS). Questa affermò come il PFOS fosse una sostanza “persistente, bioaccumulabile e tossica per le specie di mammiferi”, con la possibilità di causare cancro al fegato e alla tiroide nei ratti. Il rapporto indicò che l'esposizione al PFOS fosse epidemiologicamente collegata al cancro della vescica negli esseri umani (OECD, 2002)⁶⁰.

Esattamente come per gli studi sugli effetti dei PFAS nell'uomo, le prime analisi a carattere più sistemico sui campioni ambientali furono eseguite a partire dagli anni 2000 e riguardarono principalmente i rilasci importanti da fonti di produzione e usi come i siti di applicazione delle schiume antincendio filmogene AFFF. Con l'inizio del nuovo secolo la presenza di PFAS nell'ambiente diede il via a tantissime attività di ricerca nelle diverse matrici ambientali (Kannan *et al.* 2004; Higgins *et al.* 2005).

Per limitare/eliminare la produzione, l'uso, l'importazione e l'esportazione furono adottati negli anni importanti trattati internazionali, attuati poi anche a livello Europeo, per stabilire limiti e soglie in riferimento alle sostanze per- e polifluoroalchiliche, tra questi:

- Convenzione di Stoccolma e “Regolamento POPs”

La **Convenzione di Stoccolma** delle Nazioni Unite sui POPs è un trattato globale del 2001 ed entrata in vigore nel 2004⁶¹. Gli inquinanti organici persistenti (POP) sono sostanze organiche che tendono a

⁵⁸EPA and 3M ANNOUNCE PHASE OUT OF PFOS, 16 Maggio 2000 (Fonte: https://www.epa.gov/archive/epapages/newsroom_archive/newsreleases/33aa946e6cb11f35852568e1005246b4.html#:~:text=Following%20negotiations%20between%20EPA%20and%203M%2C%20the%20company,health%20and%20the%20environment%20over%20the%20long%20term).

⁵⁹ Nel 2006 l'EPA (Agenzia Statunitense per la Protezione Ambientale) annuncia il “PFOA Stewardship Program” in base al quale i principali produttori avrebbero dovuto eliminare gradualmente la produzione dei PFAS (Environmental Protection Agency, (<https://www.epa.gov/assessing-and-managing-chemicals-under-tsca/risk-management-and-polyfluoroalkyl-substances-pfas>).

⁶⁰ Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE), Direzione Ambiente, Pesticidi e Biotecnologia. OCSE; Parigi, Francia: 2002. Cooperazione sulle sostanze chimiche esistenti: valutazione dei rischi del perfluorottano solfonato (PFOS) e dei suoi sali.

⁶¹ Prima della stesura della convenzione di Stoccolma i POPs furono trattati, da pochi Stati, attraverso il Protocollo sugli inquinanti organici persistenti di Aarhus del 1998.

persistere nell'ambiente e ad accumularsi all'interno degli organismi viventi. Possono migrare attraverso le diverse matrici tra le frontiere internazionali, ed è pertanto necessaria una gestione internazionale dei rischi.

Le sostanze chimiche identificate come POP comprendono:

- pesticidi (ad esempio il DDT);
- prodotti chimici industriali;
- sottoprodotti non intenzionali formati durante processi industriali, degradazione o combustione (ad esempio le diossine e i furani).

Il testo si compone da un totale di 30 articoli e al suo interno sono presenti 7 allegati (A-G). La Convenzione prevede il divieto di produzione, di utilizzo e della commercializzazione dei POPs prodotti intenzionalmente (elencati agli allegati A e B), inoltre prevede la continua riduzione e, se possibile, la definitiva eliminazione delle emissioni delle sostanze organiche derivanti da produzione "non intenzionale" (elencate nell'allegato C). Attualmente vengono regolamentate 40 sostanze, delle quali 30 si trovano nell'allegato A (eliminazione), 3 nell'allegato B (limitazione) e, infine, 7 nell'allegato C (sostanze prodotte ed emesse non intenzionalmente). Nel 2009 l'acido perfluorottano solfonico PFOS, i suoi Sali e il perfluorottano sulfonil fluoruro PFOS-F furono inseriti all'interno dell'Allegato B (limitazione), mentre nel 2019 e nel 2022 vennero collocati nell'Allegato A (eliminazione) l'acido perfluorottanoico PFOA e l'acido perfluoroesano solfonico PFHxS⁶².

Un regolamento europeo che recentemente è intervenuto nella regolazione dei PFAS è il **regolamento (UE) 2022/2400**, che va a modificare gli allegati IV e V del Regolamento (UE) 1021/2019 relativo agli Inquinanti Organici Persistenti, noto come "Regolamento POPs". Il regolamento mira a vietare, eliminare gradualmente o limitare la fabbricazione, la vendita e l'uso di POPs, ciò include alcuni tipi di PFAS. L'Allegato I del regolamento proibisce la fabbricazione, la vendita e l'uso delle sostanze, mentre l'Allegato IV elenca le sostanze soggette a disposizioni sulla gestione dei rifiuti che contengono i POPs.

Le novità riguardano diversi composti e viene fissato un valore limite di 1 mg/kg per l'acido perfluorottanoico PFOA e i suoi Sali, mentre per i composti ad esso correlati viene fissato un valore di 40 mg/kg. Per l'acido perfluoroesano solfonico PFHxS e i suoi Sali viene fissato un valore limite di 1 mg/kg, mentre per la somma dei suoi composti correlati il valore è sempre di 40 mg/kg.

⁶² <https://www.pops.int/TheConvention/ThePOPs/AllPOPs/tabid/2509/Default.aspx>

- Convenzione di Rotterdam e Regolamento PIC

La **Convenzione di Rotterdam** sulla procedura di previo assenso informato per alcuni prodotti chimici e pesticidi pericolosi nel commercio internazionale, è stata adottata nel 1998 ed è finalizzata a promuovere la condivisione delle responsabilità e la collaborazione tra le Parti interessate agli scambi internazionali di prodotti chimici pericolosi, con l'obiettivo di proteggere la salute umana e l'ambiente contro i possibili danni associati all'uso di questi.

Entrata in vigore nel 2004 e ratificata da 165 paesi, disciplina le esportazioni e le importazioni di un totale di 55 prodotti chimici e pesticidi pericolosi ed è basata sul principio fondamentale del consenso informato preliminare⁶³.

L'Allegato III della Convenzione contiene l'elenco delle sostanze chimiche soggette alla procedura di "consenso informato a priori" e che sono state vietate o sottoposte a rigorose restrizioni per motivi sanitari e/o ambientali da due o più Parti. I prodotti elencati comprendono pesticidi e prodotti chimici industriali. In ambito internazionale l'acido perfluorooottanoico PFOA, lo stesso anno in cui fu inserito nell'Allegato A della Convenzione di Stoccolma, venne collocato all'interno dell'Allegato III⁶⁴ della Convenzione di Rotterdam come prodotto chimico industriale

A livello Europeo il Regolamento PIC, **Regolamento (UE) 649/2012**, implementa i mandati della Convenzione di Rotterdam ed è entrato in vigore nel 2014 con l'obiettivo di promuovere gli sforzi di cooperazione internazionale verso un movimento e un utilizzo ecologicamente corretto di sostanze chimiche pericolose. Il PFOA (e i suoi sali e derivati) e il PFOS (e i suoi sali e derivati) vennero elencati nell'Allegato I come sostanze chimiche nelle notifiche di esportazione nelle categorie di limitazione rispettivamente "sr-b" (divieto di restrizione severa e bannato) e "sr" (restrizione severa)⁶⁵.

⁶³L'esportazione di prodotti chimici vietati o soggetti a rigorose restrizioni deve avvenire solo con il consenso preliminare informato da parte del Paese importatore. La procedura PIC di "consenso informato a priori" serve per ottenere e divulgare ufficialmente le decisioni delle parti importatrici in caso volessero ricevere future spedizioni di sostanze chimiche elencate all'interno della Convenzione e per garantire il rispetto di tali decisioni da parte delle parti esportatrici.

⁶⁴<https://pic.int/TheConvention/Chemicals/AnnexIIIChemicals>

⁶⁵<https://echa.europa.eu/it/information-on-chemicals/pic/chemicals>

- Ulteriori Regolamenti Europei

Nel 2006, il Parlamento Europeo e il Consiglio dell'Unione Europea (UE) riconobbero che “il PFOS soddisfa i criteri per la classificazione come sostanza chimica molto persistente, molto bioaccumulabile e tossica” e quindi a limitare le vendite di questa sostanza agli “usi essenziali”⁶⁶. Si osservò inoltre “...che un rischio inaccettabile per la salute umana e l'ambiente deriva dalla produzione, dall'uso o dall'immissione sul mercato di PFOA, i suoi sali e le sostanze correlate al PFOA”⁶⁷.

Successivamente nello stesso anno, venne promulgato il **regolamento REACH**, Regolamento (CE) n. 1907/2006, (Registrazione, Valutazione, Autorizzazione e Restrizione delle sostanze chimiche) che disciplina la fabbricazione, l'importazione e la vendita di sostanze chimiche in Europa. Il REACH è lo strumento normativo al quale devono riferirsi produttori di sostanze chimiche, importatori e utenti per l'immissione sul mercato delle sostanze e delle miscele. Il Regolamento si applica in linea di principio a tutte le sostanze chimiche, non solo quelle utilizzate nei processi industriali, ma anche quelle ad uso quotidiano (ad esempio i prodotti per la pulizia, prodotti per gli indumenti, mobili ed elettrodomestici), proprio per questo motivo ha un impatto sulla maggioranza delle imprese presenti nell'UE e attribuisce a queste il dovere di dimostrare all'ECHA (Agenzia Europea per Sostanze Chimiche con sede ad Helsinki)⁶⁸ come l'utilizzo di tali sostanze non preveda rischi per l'uomo e per l'ambiente.

Ai sensi del REACH, i PFAS vengono limitati o proibiti tramite l'inclusione degli stessi nell'elenco delle sostanze candidate estremamente preoccupanti (**SVHC**) come sostanze che soddisfano i criteri stabiliti dall'articolo 57 del REACH o tramite l'inserimento nell'Allegato XVII (allegato in cui

⁶⁶Il Parlamento Europeo e il Consiglio dell'Unione Europea. Direttiva 2006/122/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 12 dicembre 2006, che modifica, per la trentesima volta, la direttiva 76/769/CEE del Consiglio concernente il ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati membri relative alle restrizioni in materia di immissione sul mercato e di uso di talune sostanze e preparati pericolosi (perfluorotano solfonati) Gazzetta ufficiale dell'Unione europea; Bruxelles, Belgio: 2006.

⁶⁷ REGOLAMENTO (UE) 2017/1000 DELLA COMMISSIONE del 13 giugno 2017 che modifica l'allegato XVII del regolamento (CE) n. 1907/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio relativo alla registrazione, valutazione, autorizzazione e restrizione delle sostanze chimiche (REACH) per quanto riguarda l'acido perfluorotanoico (PFOA), i suoi sali e le sostanze correlate al PFOA. Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea; Bruxelles, Belgio: 2017. (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R1000&from=EN>).

⁶⁸ L'agenzia ECHA viene istituita dal regolamento (CE) n. 1907/2006 che ha iniziato ad operare nel giugno del 2007.

vengono elencate le restrizioni). Le **sostanze estremamente preoccupanti** sono quelle sostanze che potrebbero avere effetti gravi e irreversibili sulla salute umana e sull'ambiente, come le sostanze cancerogene, mutagene e tossiche per la riproduzione (CMR), le sostanze Persistenti, Bioaccumulabili e Tossiche (PBT), le sostanze molto Persistenti e molto Bioaccumulabili (vPvB), le sostanze con proprietà di interferenti endocrini).

Possono essere identificate come SVHC le sostanze con le seguenti proprietà:

- sostanze che soddisfano i criteri di classificazione come cancerogene, mutagene o tossiche per la riproduzione;
- sostanze che sono persistenti, bioaccumulabili e tossiche (PBT) o molto persistenti e molto bioaccumulabili (vPvB) in conformità al regolamento REACH (allegato XIII)⁶⁹.

L'allegato XIII del regolamento REACH stabilisce i criteri per classificare le sostanze come PTB o vPvB (molto persistenti e molto bioaccumulabili) in:

Tabella 3 Classificazione Allegato XII del Regolamento REACH per sostanze Persistenti (P) e molto persistenti (vP).

	Emivita in acqua di mare	Emivita in acqua dolce	Emivita in sedimenti marini	Emivita in sedimenti di acqua dolce	Emivita nel suolo
Persistente P	> 60 gg	> 40 gg	> 180 gg	> 120 gg	> 120 gg
Molto persistente vP	> 60 gg	> 60 gg	> 180 gg	> 180 gg	> 180 gg

Tabella 4 Classificazione Allegato XIII del Regolamento REACH per sostanze Bioaccumulabili (B) e molto bioaccumulabili (vB).

	Fattore di Bioaccumulo (BCF)
Bioaccumulabile (B)	> 2000
Molto bioaccumulabile (vB)	> 5000

⁶⁹ <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:069:0007:0012:IT:PDF>

Tabella 5 Classificazione Allegato XIII del Regolamento REACH per la tossicità cronica.

	Mutagena	Cancerogena	Tossica per la riproduzione	Tossica per specifici target	Ecotossicità (NOEC) ⁷⁰
Tossicità cronica	Categoria 1A e 1B (H340)	Categoria 1A e 1B (H350)	Categoria 1A, 1B e 2 (H360, H361)	Categoria 1A, 1B e 2 (H372, H373)	< 0.01 [mg/L]

Periodicamente l'ECHA valuta le sostanze presenti nell'elenco di sostanze candidate per stabilire quali siano quelle da includere tra le sostanze soggette ad autorizzazione in via prioritaria. Tale priorità viene conferita in base ai dati sulle proprietà intrinseche, sull'uso ampiamente dispersivo o su volumi elevati che rientrano nel campo di applicazione del requisito di autorizzazione.

L'inserimento dei PFAS nell'elenco dei candidati SVHC è dovuto alla loro identificazione di problemi di equivalenza come cancerogeni, mutageni e tossici per la riproduzione (CMR) e sostanze chimiche persistenti, bioaccumulabili e tossiche/molto persistenti e molto bioaccumulabili (PBT/vPvB). L'elenco SVHC impone anche obblighi legali aggiuntivi se i prodotti dovessero contenere le sostanze interessate a una concentrazione >0,1% in peso. Questi includono l'obbligo di comunicare ai clienti informazioni sull'uso sicuro (articolo 33 REACH) e la notifica all'Agenzia europea per le sostanze chimiche (articolo 7-2 REACH).

L'elenco di sostanze estremamente problematiche candidate all'autorizzazione ne comprende attualmente 240 e viene aggiornato dall'ECHA con cadenza semestrale.

Tre gruppi di PFAS sono stati aggiunti all'elenco delle sostanze candidate SVHC a giugno 2019, gennaio 2020 e gennaio 2023. Il gruppo 1 include l'acido 2,3,3,3-tetrafluoro-2-(eptafuoropropossi)

⁷⁰ NOEC (concentrazione senza effetti osservati) è la concentrazione testata più alta per la quale non vi sono differenze di effetto statisticamente significative ($p < 0,05$) rispetto al gruppo di controllo negli studi di ecotossicità a lungo termine (Fonte:

https://chemsafetypro.com/Topics/CRA/What_Are_EC10,_NOEC,_LOEC_and_MATC_in_Ecototoxicity_and_How_to_Use_Them_in_Risk_Assessment.html)

propionico, i suoi sali e i suoi alogenuri acilici (HFPO-DA). Il gruppo 2 include l'acido perfluorobutano solfonico (PFBS) e i suoi sali, e il Gruppo 3 include l'acido perfluoroeptanoico (PFHpA) e i suoi sali.

Di seguito viene riportato l'elenco delle sostanze PFAS presenti all'interno della *Candidate list*:

Tabella 6 Elenco di sostanze PFAS estremamente problematiche candidate all'autorizzazione (Fonte:

[https://www.echa.europa.eu/web/guest/candidate-list-](https://www.echa.europa.eu/web/guest/candidate-list-table?p_p_id=disslists_WAR_disslistsportlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&disslists_WAR_disslistsportlet_javax.portlet.action=searchDissLists)

[table?p_p_id=disslists_WAR_disslistsportlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&disslists_WAR_disslistsportlet_javax.portlet.action=searchDissLists](https://www.echa.europa.eu/web/guest/candidate-list-table?p_p_id=disslists_WAR_disslistsportlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&disslists_WAR_disslistsportlet_javax.portlet.action=searchDissLists))

Denominazione della sostanza	N. CAS	Data di iscrizione	Decisione	Motivo dell'iscrizione
Acido perfluorobutanPerfluorobutane solfonico (PFBS) e i suoi sali	375-73-5	16/01/2020	ECHA_01_2020.pdf	Livello di preoccupazione equivalente con probabili effetti gravi per la salute umana (articolo 57,f) - salute umana) Livello di preoccupazione equivalente con probabili effetti gravi sull'ambiente (Articolo 57,f) - ambiente)
Acido perfluoroundecanoico (PFUnDA)	2058-94-8	19-dic-2012	ED/169/2012	vPvB (Articolo 57e)
Acido perfluorododecanoico (PFDoDA)	307-55-1	19-dic-2012	ED/169/2012	vPvB (Articolo 57e)
Acido perfluoroottanoico (PFOA)	335-67-1	20-giu-2013	ED/69/2013	Tossico per la riproduzione (articolo 57c) PBT (Articolo 57d)
Acido perfluorodecanoico (PFDA)	335-76-2	12-gen-2017	ED/01/2017	Tossico per la riproduzione (articolo 57c) PBT (Articolo 57d)
Acido perfluoresansolfonico PFHxS e i suoi sali	355-46-4	07-lug-2017	ED/30/2017	vPvB (Article 57e)
Acido perfluoroeptanoico e i suoi sali (PFHpA)	375-85-9	17-gen-2023	D(2022)91	Tossico per la riproduzione (articolo 57c)

			<u>20-DC</u>	PBT (Articolo 57d) vPvB (articolo 57e) Livello di preoccupazione equivalente con probabili effetti gravi per la salute umana (Articolo 57f) - salute umana) Livello di preoccupazione equivalente con probabili effetti gravi sull'ambiente (Articolo 57f) - ambiente)
Acido perfluorononanoico (PFNA)	375-95-1	17-dic-2015	<u>ED/79/201</u> <u>5</u>	Tossico per la riproduzione (articolo 57c) PBT (Articolo 57d)
Acido perfluorotetradecanoico (PFTDA)	376-06-7	19-dic-2012	<u>ED/169/20</u> <u>12</u>	vPvB (Article 57e)
Acido perfluorotridecanoico (PFTTrDA)	72629-94-8	19-dic-2012	<u>ED/169/20</u> <u>12</u>	vPvB (Article 57e)
Acido 2,3,3,3-tetrafluoro-2-(eptaffluoropropossi)propionico, suoi sali e suoi alogenuri acilici (HFPO-DA).		16-Jul-2019	<u>ED/71/201</u> <u>9</u>	Livello di preoccupazione equivalente con probabili effetti gravi per la salute umana (Articolo 57f - salute umana) Livello di preoccupazione equivalente con probabili effetti gravi sull'ambiente (Articolo 57f - ambiente)

Alcuni PFAS sono stati elencati nell'elenco delle sostanze soggette a restrizioni dell'allegato XVII del REACH. Nel 2021, gli acidi perfluorocarbossilici (C9-C14 PFCA), i loro sali e le sostanze correlate furono infatti aggiunti all'elenco. Dal 25 febbraio 2023, la fabbricazione, l'uso e la vendita di queste sostanze è stata vietata, a meno che la concentrazione nella sostanza, nella miscela o nell'articolo non sia inferiore a 25 ppb per la somma di C9-C14 PFCA e dei loro sali o 260 ppb per la somma di sostanze correlate a C9-C14 PFCA⁷¹.

⁷¹[https://www.mase.gov.it/pagina/echa-e-news-22-febbraio-](https://www.mase.gov.it/pagina/echa-e-news-22-febbraio-2023#:~:text=La%20restrizione%20a%20livello%20dell%27UE%20di%20alcuni%20acidi,mercato%20o%20utilizzati%20nella%20maggior%20parte%20delle%20applicazioni.)

[2023#:~:text=La%20restrizione%20a%20livello%20dell%27UE%20di%20alcuni%20acidi,mercato%20o%20utilizzati%20nella%20maggior%20parte%20delle%20applicazioni.](https://www.mase.gov.it/pagina/echa-e-news-22-febbraio-2023#:~:text=La%20restrizione%20a%20livello%20dell%27UE%20di%20alcuni%20acidi,mercato%20o%20utilizzati%20nella%20maggior%20parte%20delle%20applicazioni.)

Complementare al REACH è il **regolamento CE n. 1271/2008 sulla classificazione, l'etichettatura e l'imballaggio (CLP)**, che si basa sul sistema mondiale armonizzato di classificazione ed etichettatura delle sostanze chimiche delle Nazioni Unite.

Questo regolamento ha sostituito progressivamente la direttiva sulla classificazione ed etichettatura delle sostanze pericolose (67/548/CEE) e la direttiva sui preparati pericolosi (1999/45/CE) e, a partire dal 1° giugno 2015, è l'unica norma in vigore nell'UE per la classificazione ed etichettatura delle sostanze e delle miscele. Il CLP è giuridicamente vincolante in tutti gli Stati membri e direttamente applicabile a tutti i settori industriali. Difatti, impone ai fabbricanti, agli importatori o agli utilizzatori a valle di sostanze o di miscele di classificare, etichettare e imballare le sostanze chimiche pericolose in modo adeguato prima dell'immissione sul mercato.

Nel 2023 sono stati istituite nuove classi di pericolo e nuovi criteri per la classificazione, l'etichettatura e l'imballaggio delle sostanze e delle miscele: il regolamento (UE) 2023/707 che modifica il Regolamento (CE) n. 1272/2008, CLP, si applica a tutte le sostanze e miscele chimiche presenti sul mercato dell'UE ai sensi del regolamento REACH, nonché ai principi attivi contenuti nei biocidi e nei prodotti fitosanitari, cui viene normalmente assegnata priorità ai fini della classificazione armonizzata nell'UE. Dal 2023 pertanto gli Stati membri fanno riferimento alle nuove classi di pericolo e ai nuovi criteri nella formulazione di proposte di classificazione ed etichettatura armonizzate con tempistiche progressive. Le nuove classi di pericolo sono:

- ED HH nelle categorie 1 e 2 (interferente endocrino per l'uomo);
- ED ENV nelle categorie 1 e 2 (interferente endocrino per l'ambiente);
- PBT (persistente, bioaccumulabile e tossico); vPvB (molto persistente e molto bioaccumulabile);
- PMT (persistente, mobile e tossico); vPvM (molto persistente e molto mobile).

Tabella 7 indicazioni di pericolo definite dal Regolamento (UE) 2023/707.





Categoria di pericolo	Indicazione di pericolo
Interferenti endocrini per l'uomo, categoria 1	EUH380: Può interferire con il sistema endocrino negli esseri umani
Interferenti endocrini per l'uomo, categoria 2	EUH381: Sospettato di interferire con il sistema endocrino negli esseri umani

Interferenti endocrini per l'ambiente, categoria 1	EUH430: Può interferire con il sistema endocrino nell'ambiente
Interferenti endocrini per l'ambiente, categoria 2	EUH431: Sospettato di interferire con il sistema endocrino nell'ambiente
PBT	EUH440: si accumula nell'ambiente e negli organismi viventi, compresi gli esseri umani
vPvB	EUH441: si accumula notevolmente nell'ambiente e negli organismi viventi, compresi gli esseri umani
PMT	EUH450: può provocare la contaminazione duratura e diffusa delle risorse idriche
vPvM	EUH451: può provocare la contaminazione molto duratura e diffusa delle risorse idriche

Per questo motivo i pericoli di una sostanza o di una miscela vengono identificati assegnando una determinata classe e categoria di pericolo, che può riguardare pericoli fisici, per la salute, per l'ambiente e altri. Una volta classificata una sostanza o una miscela, i pericoli identificati devono essere comunicati a soggetti terzi della catena d'approvvigionamento, inclusi i consumatori.

Tra i pericoli per la salute, vengono riportate nelle seguenti tabelle degli esempi di classificazione CLP per la tossicità acuta e quella cronica, come la cancerogenicità.

Tabella 8 Classificazione tossicità acuto nel Regolamento CLP



Tossicità Acuta				
	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4
Pittogramma	 Danger	 Danger	 Danger	 Warning
Indicazioni di pericolo Esposizione orale	H300: Fatale se ingerito	H300: Fatale se ingerito	H301: Tossico se ingerito	H302: Nocivo se ingerito
Indicazioni di pericolo Esposizione dermica	H310: Fatale se in contatto con la pelle	H310: Fatale se in contatto con la pelle	H311: Tossico se in contatto con la pelle	H302: Nocivo se ingerito

Indicazioni di pericolo Esposizione inalatoria	H330: Fatale se inalato	H330: Fatale se inalato	H331: Tossico se inalato	H332: Nocivo se inalato
---	-------------------------	-------------------------	--------------------------	-------------------------

La tossicità acuta, misura principale dei pericoli per la salute in uno studio tossicologico, intende il manifestarsi di effetti negativi per la salute dopo la somministrazione di una determinata dose entro le 24 ore per le vie d'esposizione dermica e orale e entro le 4 ore per la via inalatoria.

La dose per le vie d'esposizione orale e dermica fa riferimento alla LD50, ovvero quella dose letale in grado di uccidere il 50% di una popolazione campione di cavie (generalmente ratti), mentre la via d'esposizione inalatoria risponde al parametro di concentrazione letale LC50.

Tabella 9 Classificazione tossicità cronica (cancerogenicità) nel Regolamento CLP.

Tossicità Cronica: Cancerogenicità		
	Categoria 1 (1 A, 1 B)	Categoria 2
Pittogramma	 Danger	 Warning
Indicazioni di pericolo	H350: Può causare il cancro	H351: Sospetto di causare il cancro

La tossicità cronica, invece, prevede una somministrazione per sette giorni e un monitoraggio minimo di 18/24 mesi. Trascorso il tempo di osservazione, si svolgono tutte le analisi finali sull'animale e le variabili che possono verificarsi in questi lunghi studi sono la morte precoce dell'animale o eventuali infezioni che possono andare a falsare i risultati finali. L'obiettivo della tossicità cronica è quello di determinare il NOaEL (*No Observed adverse Effect Level*)⁷² da cui si può determinare un livello di

⁷²Il NOaEL è "Il livello di esposizione più alto presso cui non ci sono incrementi biologicamente o statisticamente significativi nella frequenza o nella severità degli effetti avversi tra la popolazione esposta ed il suo appropriato controllo. Alcuni effetti possono essere osservati a questo livello, ma non sono considerati avversi o precursori di effetti avversi". Il LOaEL corrisponde invece al minor livello di esposizione presso cui si osservano aumenti statisticamente o biologicamente significativi di effetti avversi tra la popolazione esposta ed il suo controllo appropriato (Fonte: <https://www.noaelproject.it/content/quali-sono-le-definizioni-corrette-ed-i-significati-di-noael-noel-e-loael>)

rischio, ovvero la probabilità che ha una sostanza tossica di determinare effetti negativi a contatto con l'organismo umano, grazie all'impiego di modelli matematici.

In seguito tramite l'etichettatura dei pericoli viene comunicato il grado del pericolo agli utilizzatori (etichette e schede di dati di sicurezza sul prodotto), mentre l'imballaggio di una sostanza chimica pericolosa deve essere concepito, realizzato e chiuso in modo da impedire qualsiasi fuoriuscita del contenuto (utilizzo di materiali di imballaggio solidi e resistenti).

I PFAS vengono ancora oggi ampiamente utilizzati nella carta da forno e nei pirottini per cupcake, nei sacchetti per panetteria, nei contenitori per fast food e da asporto, nei sacchetti per popcorn per microonde e nelle stoviglie compostabili. In genere non vengono fornite informazioni sul contenuto di PFAS in queste tipologie di prodotti⁷³.

I PFAS inclusi nell'inventario di classificazione ed etichettatura sono PFOA, pentadecafluorootanoato di ammonio (APFO), acido perfluorononano-1-ico (PFNA) e i suoi sali di sodio e ammonio, acido nonadecafluorodecanoico (PFDA) e i suoi sali di sodio e ammonio e PFHpA.

Questi citati sono solo alcuni degli sforzi intrapresi dagli organismi internazionali ed europei nel tentativo di limitare la produzione di PFAS e ridurre gli effetti dannosi sia sull'uomo che sull'ambiente. Nel 2023 lo IARC, Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro, ha statuito l'acido perfluorootanoico PFOA come cancerogeno certo per l'uomo (Gruppo 1), mentre l'acido perfluorootansolfonico PFOS come possibile cancerogeno per l'uomo (Gruppo 2)⁷⁴.

Nei paragrafi successivi verranno illustrate ulteriori restrizioni sulla produzione e importazione di PFAS, la fissazione di livelli massimi consentiti di PFAS negli alimenti e nelle matrici ambientali e la regolamentazione dello smaltimento dei prodotti che contengono PFAS, sia a livello Europeo che a livello nazionale.

⁷³ Strakova (2023) valuta l'uso di PFAS e la contaminazione involontaria negli imballaggi negli alimenti raccolti in 17 paesi in Asia, Africa, Europa, America Latina e Caraibi. Sono stati raccolti in totale 119 campioni di imballaggi alimentari e i risultati hanno mostrato che 64 campioni sul totale (54%) contenevano PFAS, comprese le confezioni di carta delle principali catene di fast food (Strakova *et al.*, 2023 Straková, J., Brosché, S., Grechko, V., *et al.*, 2023. Forever Chemicals in Single-use Food Packaging and Tableware from 17 Countries. IPEN. 57p)

⁷⁴ IARC, Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro. Volume 135: Acido perfluorootanoico (PFOA) e acido perfluorootanesolfonico (PFOS). Lione, Francia; 7-14 novembre 2023. IARC Monogr Identif Carcinog Hazards Hum.

3.3 Acque superficiali e sotterranee

A livello Europeo le acque vengono disciplinate tramite la **Direttiva Framework**, Direttiva 2000/60/CE che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque interne superficiali, di transizione, costiere e sotterranee, perseguendo scopi che riguardano tanto il profilo ambientale quanto quello più prettamente economico e sociale della gestione della risorsa.

In Italia le normative riguardanti le acque vengono regolate dal **decreto legislativo n. 152 del 2006**, "Norme in materia ambientale", il quale contiene pertanto le principali norme che regolano la disciplina ambientale. In realtà viene chiamato anche Testo Unico Ambientale (T.U.A.) ma non si tratta di un vero "testo unico", in quanto non si occupa di tutte le discipline ambientali come il rumore, elettrosmog, aree protette, ecc. Il decreto ha come "obiettivo primario la promozione dei livelli di qualità della vita umana, da realizzare attraverso la salvaguardia ed il miglioramento delle condizioni dell'ambiente e l'utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali" (Parte prima, Art. 2).

Negli ultimi decenni a causa dell'utilizzo e produzione dei PFAS si è verificata, e si sta ancora verificando, un'elevata contaminazione delle acque sotterranee e superficiali, che ne compromette la qualità e l'uso. La contaminazione non riguarda solo le acque ma va ad interessare anche le altre matrici ambientali essendo strettamente collegate a queste (suolo e bioma).

Nel caso delle acque, per garantirne l'adeguato utilizzo, si va a verificare il loro buon stato qualitativo, diverso per le due tipologie di acque. È d'obbligo quindi citare la **direttiva Europea 2013/39** che aggiornò gli standard di qualità ambientali (SQA)⁷⁵ delle 33 sostanze prioritarie originarie, già elencate all'interno della Direttiva 2008/105/CE relativa agli SQA nel settore della politica delle acque superficiali, aggiungendo ulteriori 12 sostanze all'elenco.

Tra queste viene aggiunto anche l'acido perfluorottansolfonico PFOS.

⁷⁵ Esistono due tipi di standard per l'acqua:

- una soglia per la concentrazione media della sostanza interessata calcolata a partire dalle misurazioni nell'arco di un anno SQA-MA. Tale standard mira a garantire la protezione contro l'esposizione a lungo termine ad agenti inquinanti nell'ambiente acquatico;

-una concentrazione massima ammissibile della sostanza in questione, ossia il massimo per ogni singola misurazione SQA-CMA. Questo standard mira a garantire la protezione contro l'esposizione a breve termine, ad esempio contro i picchi di inquinamento.

Tabella 10 SQA-MA e SQA-CMA per l'acido perfluorottansolfonico PFOS

	SQA-MA per acque superficiali interne	SQA-MA per altre acque di superficie	SQA-CMA per acque superficiali interne	SQA-CMA per altre acque di superficie	SQA Biota
PFOS	$6,5 \times 10^{-4}$ µg/l	$1,3 \times 10^{-4}$ µg/l	36 µg/l	7,2 µg/l	9,1 µg/kg di peso umido

A livello Nazionale la Direttiva 2013/2019/UE è stata implementata nel **Decreto legislativo 172 del 2015** e tratta lo stesso numero e tipologia di sostanze, per un totale di 45 composti. Gli standard di qualità ambientale SQA si trovano nella Tab. 1/A del decreto e si riferiscono alle acque superficiali e al biota. I valori di SQA-MA e SQA-CMA per il PFOS sono gli stessi riportati nella Tabella 10 mentre i valori per l'acido perfluorobutanoico (PFBA), l'acido perfluoropentanoico (PFPeA), l'acido perfluoroesanoico (PFHxA), l'acido perfluorobutansolfonico (PFBS) e l'acido perfluorottanoico (PFOA) vengono riportati nella Tab 1/B e sono:

Tabella 11 SQA-MA nelle acque superficiali interne e altre acque di superficie per alcune tipologie di PFAS.

	SQA-MA acque superficiali interne (µg/kg)	SQA-MA altre acque di superficie (µg/kg)
Acido perfluorobutanoico (PFBA)	7	1,4
Acido perfluoropentanoico (PFPeA)	3	0,6
Acido perfluoroesanoico (PFHxA),	1	0,2
Acido perfluorobutansolfonico (PFBS)	3	0,6
Acido perfluorottanoico (PFOA)	0,1	0,002

Per le acque sotterranee gli standard di qualità ambientale e valori soglia furono fissati all'interno della **Direttiva 2006/118/CE**, come modificata dalla Direttiva 80/2014/UE, recepita in Italia da D.Lgs. 30/2009, come modificato dal **DM 06/07/2016**. Il decreto ministeriale ha introdotto la distinzione tra sostanze chimiche di origine antropica e sostanze chimiche di possibili origine naturale, e oltre a recepire gli standard di qualità previsti a livello comunitario per i nitrati e per le sostanze attive presenti nei pesticidi, stabilì i valori soglia specifici per ulteriori 57 composti. Tra questi sono presenti 5 PFAS:

Tabella 12 Valori soglia da considerare per la valutazione dello stato chimico delle acque sotterranee

PFAS	VALORI SOGLIA (µg/l)	VALORI SOGLIA* (µg/l) (interazione acque superficiali)
Acido perfluoropentanoico (PFPeA)	3	
Acido perfluoroesanoico (PFHxA)	1	
Acido perfluorobutansolfonico (PFBS)	3	
Acido perfluorooctanoico (PFOA)	0,5	0,1
Acido perfluorooottansolfonico (PFOS)	0,03	6,5x10 ⁻⁴

Le citate norme europee e le norme nazionali di recepimento definiscono i criteri per la progettazione e l'attuazione dei programmi di monitoraggio dei corpi idrici, individuano le Autorità di competenza per le attività di monitoraggio. Inoltre, stabiliscono i requisiti minimi di prestazione dei metodi di analisi e di controllo di qualità, la lista delle sostanze inquinanti nei corpi idrici sotterranei e superficiali, i relativi standard di qualità e i valori soglia.

3.4 Acque potabili

Fondamentale quando si parla di questa tipologia di acque è il rilevamento del requisito di potabilità, a differenza delle acque sotterranee e superficiali che vengono valutate in base allo stato di buona qualità. L'acqua potabile, come suggerisce il nome, è destinata al consumo umano e questo implica che siano assenti composti chimici (i PFAS vengono definiti come composti persistenti organici e alcuni di questi vengono identificati come cancerogeni certi o probabili per l'uomo) che possano pregiudicare l'utilizzo e la salubrità di questa.

La direttiva sull'acqua potabile (2020) ha istituito un valore di "nuovo limite di gruppo" per il "totale PFAS" di 0,5 µg/L o il limite per la "somma di PFAS" di 0,1 µg/L nell'acqua potabile. La **Direttiva (UE) 2020/2184**, in vigore dal 2021 e nota come "*Drinking Water*" ha come obiettivo quello di stabilire gli standard relativi all'acqua potabile e definire la qualità delle acque destinate al consumo

umano, al fine di proteggere la salute umana dagli effetti negativi derivanti dalla contaminazione delle acque potabili. All'interno dell'Allegato I della direttiva vengono elencate le prescrizioni minime relative ai valori di parametro utilizzati per valutare la qualità delle acque destinate al consumo umano.

L'Allegato è suddiviso in quattro parti e nella Parte B vengono definiti i parametri chimici, per i PFAS totale⁷⁶ con un valore limite di 0,50 µg/l e la somma dei PFAS⁷⁷ con un valore limite di 0,10 µg/l.

In Italia il **decreto legislativo 18/2023**, in attuazione della direttiva (UE) 2020/2184, va ad abrogare il precedente D.Lgs. 31/2001, introducendo una modifica della normativa sull'analisi dell'acqua potabile e sulla fruibilità delle risorse idriche. Il nuovo decreto aggiorna la disciplina sulle acque potabili rivede i parametri e i valori di rilevanza sanitaria a maggiore protezione dei cittadini, stabilisce i requisiti di igiene per i materiali che entrano in contatto con le acque potabili, per i reagenti chimici e per i materiali.

Le principali novità:

- rivedere e introdurre norme intese a proteggere la salute umana dagli effetti negativi derivanti dalla contaminazione delle acque destinate al consumo umano, garantendone “salubrità e pulizia”;
- stabilire i requisiti di igiene per i materiali che entrano in contatto con le acque potabili nonché per i reagenti chimici e i materiali filtranti attivi o passivi da impiegare nel loro trattamento;

⁷⁶ Per «PFAS — totale» si intende la totalità delle sostanze per- e polifluoro alchiliche. Tale valore di parametro si applica esclusivamente dopo l'elaborazione di orientamenti tecnici per il monitoraggio di tale parametro in conformità dell'articolo 13, paragrafo 7. Gli Stati membri possono quindi decidere di utilizzare uno o entrambi i parametri «PFAS — totale» o «Somma di PFAS» (Fonte: DIRETTIVA (UE) 2020/2184 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, p. 38).

⁷⁷ Per «somma di PFAS» si intende la somma di tutte le sostanze per- e polifluoro alchiliche ritenute preoccupanti per quanto riguarda le acque destinate al consumo umano di cui all'allegato III, parte B, punto 3. Si tratta di un sottoinsieme di sostanze «PFAS — totale» contenenti un gruppo perfluoroalchilico con tre o più atomi di carbonio (vale a dire – C_nF_{2n}–, n ≥ 3) o un gruppo perfluoroalchilicetere con due o più atomi di carbonio (vale a dire – C_nF_{2n} OC_mF_{2m}–, n e m ≥ 1) (Fonte: DIRETTIVA (UE) 2020/2184 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, p. 38).

- introdurre un approccio di valutazione e gestione del rischio che sia più efficace ai fini della prevenzione sanitaria, della protezione dell'ambiente e del controllo delle acque destinate al consumo umano, anche sotto il profilo dei costi e della allocazione delle risorse istituzionali;
- migliorare l'accesso equo per tutti all'acqua potabile sicura;
- assicurare la comunicazione tra le autorità competenti e i fornitori di acqua e fornire una informazione adeguata e aggiornata al pubblico sulle acque destinate al consumo umano.

I requisiti minimi relativi ai valori di parametro utilizzati per valutare la qualità delle acque destinate al consumo umano vengono riportati all'interno dell'Allegato I e riportano tra i parametri chimici (Parte B) i valori per la somma dei PFAS⁷⁸, sulle acque destinate al consumo umano. La somma dei PFAS inserita nel decreto riporta un totale di 24 sostanze, rispetto alle 20 riportate all'interno della direttiva (UE) 2020/2184:

- acido perfluorobutanoico (PFBA);
- acido perfluoropentanoico (PFPeA);
- acido perfluoroesanoico (PFHxA);
- acido perfluoroeptanoico (PFHpA);
- acido perfluoroottanoico (PFOA);
- acido perfluorononanoico (PFNA);
- acido perfluorodecanoico (PFDA);
- acido perfluorundecanoico (PFUnDA);
- acido perfluorododecanoico (PFDoDA);
- acido perfluorotridecanoico (PFTrDA);
- acido perfluorobutanosolfonico (PFBS);
- acido perfluoropentansolfonico (PFPeS);
- acido perfluoroesansolfonico (PFHxS);

⁷⁸ <https://www.normattiva.it/do/atto/caricaPdf?cdimg=23G0002500100010110001&num=0001&dgu=2023-03-06>

- acido perfluoroeptansolfonico (PFHpS);
- acido perfluoroottansolfonico (PFOS);
- acido perfluorononansolfonico (PFNS);
- acido perfluorodecansolfonico (PFDS);
- acido perfluoroundecansolfonico;
- acido perfluorododecansolfonico;
- acido perfluorotridecansolfonico;
- acido 2,3,3,3-tetrafluoro-2-(eptaffluoropropossi)propanoico (HFPO-DA o GenX);
- acido dodecafluoro-3H-4,8-diossanonanoico (ADONA);
- fluorotelomero solfonato (6:2 FTS);
- acido difluoro «[2,2,4,5- tetrafluoro-5- (trifluorometossi)-1,3-diossolan-4-yl] ossi»acetico (C6O4).

Le ultime quattro sostanze inserite nell'elenco qui sopra riportato vengono riportate solamente nella somma dei PFAS all'interno del D.Lgs. 18/2023.

3.5 Catena alimentare

La principale attività svolta dall'Agenzia Europea per la Sicurezza Alimentare (EFSA) è quella di raccogliere, valutare e integrare prove scientifiche per dare risposta a interrogativi concernenti i rischi presenti nella filiera alimentare e sviluppare consulenze scientifiche grazie al lavoro di esperti indipendenti e del personale dell'agenzia. L'EFSA, attraverso uno studio specifico effettuato nel 2020, identificò la carne di pesce, la frutta, i prodotti a base di frutta e le uova come fonti comuni di esposizione alimentare a PFOA, PFNA, PFHxS e PFOS (EFSA,2020)⁷⁹. Alla fine della sua valutazione il CONTAM Panel, ovvero il gruppo di esperti scientifici dell'EFSA sui contaminanti all'interno della catena alimentare, ha raccomandato una dose settimanale tollerabile (TWI) di $4,4 \frac{ng}{Kg}$ di peso corporeo a settimana per quattro sostanze per- e polifluoroalchiliche (acido perfluoroottanico PFOA, perfluoroottano solfonato PFOS, acido perfluorononanoico PFNA, acido perfluoroesano

⁷⁹ Gruppo di esperti scientifici dell'EFSA sui contaminanti nella catena alimentare Rischio per la salute umana correlato alla presenza di sostanze perfluoroalchiliche negli alimenti. EFSA J.2020; 18 :e06223

sulfonato PFHxS). Ulteriori studi vanno a confermare come la contaminazione dei corpi idrici da PFAS intacchi l'acqua utilizzata nell'irrigazione dei campi agricoli e l'acqua per l'abbeveraggio del bestiame, contaminando in questo modo organismi vegetali e animali (Mikkonen *et al.*, 2023; Piva *et al.*, 2023; Sunderland *et al.*, 2019; Torres *et al.*, 2023) Di conseguenza è inevitabile la presenza di queste sostanze all'interno della catena alimentare e pertanto nell'uomo.

Per proteggere i consumatori dai rischi per la salute associati alla presenza di contaminanti negli alimenti in Europa si fa riferimento al **Regolamento 2023/915**. Questo stabilisce i tenori massimi di alcuni contaminanti all'interno degli alimenti ($\mu\text{g}/\text{kg}$) commercializzati nell'UE e li inserisce all'interno dell'Allegato I, tra questi troviamo anche le sostanze perfluoroalchiliche:

Tabella 13 Tenori massimi dei PFAS ($\mu\text{g}/\text{kg}$) all'interno degli alimenti.

	PFOS ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	PFOA ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	PFNA ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	PFHxS ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Somma delle 4 sostanze ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Osservazioni
Carni e frattaglie commestibili						
Carni di bovini, suini e pollame	0,30	0,80	0,20	0,20	1,3	
Carni di ovini	1,0	0,20	0,20	0,20	1,6	
Frattaglie di bovini, ovini, suini e pollame	6,0	0,70	0,40	0,50	8,0	
Carne di selvaggina, ad eccezione della carne di orso	5,0	3,5	1,5	0,60	9,0	
Frattaglie di selvaggina, ad eccezione delle frattaglie di orso	50	25	45	3,0	50	
Prodotti della pesca e molluschi bivalvi						Nel caso degli alimenti essiccati, diluiti, trasformati e/o composti si applica l'articolo 3,

						paragrafi 1 e 2.
Carne di pesce						Qualora i pesci siano destinati a essere consumati per intero, il tenore massimo si applica all'intero pesce.
Crostacei e molluschi bivalvi	3,0	0,70	1,0	1,5	5,0	
Uova	1,0	0,30	0,70	0,30	1,7	

3.6 Conclusioni

In questo capitolo si è evidenziato quanto sia complesso regolare la normativa e amministrazione delle sostanze per- e polifluoroalchiliche. Le seguenti tabelle propongono un sunto della normativa trattata, inserendola all'interno del Diritto Internazionale, Europeo e Nazionale.

Tabella 14 Diritto Internazionale

DIRITTO INTERNAZIONALE	
<p>Convenzione di Stoccolma:</p> <p>ha come obiettivo l'eliminazione e la diminuzione degli inquinanti organici persistenti POPs. Il PFOA (2019) e il PFHxS (2022) si trovano nell'Allegato A (eliminazione), mentre il PFOS (2009) nell'Allegato B (limitazione).</p>	<p>Convenzione Rotterdam:</p> <p>disciplina le esportazioni e le importazioni di alcuni prodotti chimici e pesticidi pericolosi. La procedura di "consenso informato a priori" (PIC) è un meccanismo per ottenere e divulgare ufficialmente le decisioni delle parti importatrici in merito all'eventuale desiderio di ricevere future spedizioni di sostanze chimiche elencate nell'Allegato III. Nell'Allegato III vengono elencati i prodotti soggetti al PIC (55 in totale) tra cui il PFOA, i suoi sali e composti correlati a questo come prodotti chimici industriali.</p>

Tabella 15 Diritto Europeo

DIRITTO EUROPEO		
Autorità europea per la sicurezza alimentare	REACH ("Registration, Evaluation, Authorisation)	Regolamenti, direttive e raccomandazioni:

<p>(EFSA):</p> <p>fornisce consulenze scientifiche sui rischi connessi all'alimentazione e pubblica pareri sui rischi alimentari attuali ed emergenti che confluiscono nella legislazione, nelle regolamentazioni e nelle strategie politiche europee. L'EFSA stabilisce un TWI (Assunzione settimanale tollerabile) per i principali PFAS che si accumulano nell'organismo di 4,4 ng/kg di peso corporeo a settimana. I quattro PFAS su cui si è concentrata la valutazione dell'EFSA sono l'acido perfluorooctanoico (PFOA), il perfluorooctano solfonato (PFOS), l'acido perfluorononanoico (PFNA), l'acido perfluoroesano solfonico (PFHxS).</p>	<p>and restriction of Chemicals"):</p> <p>Regolamento (CE) n.1907/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio concernente la registrazione, valutazione, autorizzazione e restrizione delle sostanze chimiche. Questo prevede la registrazione di tutte le sostanze prodotte o importate nell'UE in quantità maggiori di una tonnellata per anno.</p> <p>CLP ("Classification, Labelling and Packaging"):</p> <p>Regolamento n. 1272/2008 CE (in vigore dal 2009), emanato per aggiornare il sistema di classificazione, etichettatura e imballaggio delle sostanze chimiche allineandolo al sistema mondiale delle sostanze chimiche o GHS.</p>	<p>Direttiva (UE) 2000/60 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque ("<i>Water Framework Directive</i>");</p> <p>Direttiva (UE) 2020/2184 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano. I limiti introdotti riguardano due parametri: PFAS totali (limite di 0,5 µg/l) e somma di PFAS (limite di 0,1 µg/l);</p> <p>Dir 2008/105/CE relativa a standard di qualità ambientale (SQA) nel settore della politica delle acque. Modificata dalla Dir 2013/39/CE che aggiunge 12 nuove sostanze prioritarie all'elenco e modifica gli SQA di sostanze già presenti. Tra le 12 sostanze aggiunte troviamo anche il PFOS;</p> <p>Dir 91/271/CE relativa al trattamento delle acque reflue urbane;</p> <p>Dir 2006/118/CE relativa ai valori soglia per le acque sotterranee, come modificata dalla Direttiva 80/2014/UE;</p> <p>Regolamento (UE) 2023/915 relativo ai tenori massimi di alcuni contaminanti negli alimenti (µg/kg). Nell'Allegato I sono presenti i valori per i contaminanti, tra cui i PFAS;</p> <p>Regolamento (UE) 2022/2400 relativo agli inquinanti organici persistenti.</p>
---	--	--

DIRITTO NAZIONALE		
<p>D.Lgs 152/2006 "Norme in materia ambientale"</p> <p>La parte III del D.Lgs 152/2006 "Norme in materia difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche" e il relativo allegato 5 "Limiti di emissione degli scarichi idrici" del D.Lgs 152/2006 contengono le norme relative alla Dir 91/271/CEE.</p> <p>Il Dlgs 152/2006 permette alle Regioni di stabilire valori-limite di emissione diversi da quelli dell'allegato 5 alla Parte III. Purché siano più restrittivi e non maggiormente permissivi rispetto alle disposizioni nazionali e ai limiti ivi stabiliti.</p>	<p>Limiti di emissione:</p> <p>Lr 25/2021: la Regione Piemonte ha stabilito dei limiti di emissione per le sostanze per e polifluoroalchiliche (PFAS) negli scarichi in acque superficiali.</p> <p>I valori limite vengono stabiliti con l'articolo 74 della legge e la norma si applica a tutti i tipi di scarico in acque superficiali, sia pubblici che privati.</p> <p>Per la Regione Veneto i limiti agli scarichi sono definiti all'interno delle prescrizioni AIA ovvero le autorizzazioni integrate ambientali, in conformità con delibere della Giunta regionale</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● D.Lgs 18/2023, implementazione della direttiva (UE) 2020/2184 sulla qualità delle acque destinate al consumo umano. Il limite di legge per i PFAS totali è di 0,50 µg/l, mentre per la somma dei PFAS è di 0,10 µg/l; ● D.Lgs 172/2015, attuazione della direttiva 2013/39/per quanto riguarda le sostanze prioritarie nel settore della politica delle acque superficiali; ● DM 06/07/2016, in riferimento alle acque sotterranee, stabilisce valori soglia specifici per ulteriori 57 composti. Tra questi sono presenti 5 PFAS: Acido perfluoropentanoico (PFPeA), Acido perfluoroesanoico (PFHxA), Acido perfluorobutansolfonico (PFBS), Acido perfluorooctanoico (PFOA) e Acido perfluorooctansolfonico (PFOS).

CAPITOLO 4

MATERIALI E METODI

4.1 Introduzione

Il campionamento delle acque è un processo fondamentale per analizzare la qualità dell'acqua da diverse prospettive, come la sicurezza e la potabilità dell'acqua stessa, la sua sterilità in ambito medico, o la quantità e il tipo di impurità che possono trovarsi nelle acque di scarico.

Il progetto di tesi analizza il campionamento e piano di monitoraggio su acque superficiali e sotterranee⁸⁰ eseguiti da ARPAV nella regione Veneto in un arco temporale di sei anni (2017-2023) per le sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS) al fine di stimare il grado di contaminazione, nello specifico per l'acido perfluorooctanoico (PFOA) e l'acido perfluorooctansolfonico (PFOS), rapportato agli standard di qualità ambientali SQA per le acque superficiali e ai valori soglia per le acque sotterranee.

Il piano di monitoraggio di ARPAV è un programma dettagliato che prevede il controllo della qualità delle acque superficiali e sotterranee nella regione Veneto. Per le **acque superficiali** (fiumi e laghi) si esegue un monitoraggio chimico (misure sulla colonna d'acqua, sui pesci e sui sedimenti), biologico (analisi delle comunità biologiche) e misure quantitative della risorsa idrica. Per le **acque sotterranee** si eseguono misure qualitative (analisi chimico-fisiche) e misure quantitative (livello di falda e portata delle sorgenti)⁸¹.

L'obiettivo di ricerca della presente tesi è quello di valutare il livello di contaminazione di selezionate sostanze, PFAS, e nello specifico per il PFOA e per il PFOS, in relazione al disposto normativo definito nel D.Lgs. 172/2015 e nel DM 6 luglio 2016 che specificano rispettivamente gli standard di qualità ambientale SQA (concentrazione media annuale SQA-MA e concentrazione massima ammissibile SQA-CMA) per le acque superficiali e valori soglia per le acque sotterranee in relazione a specifiche aggregazioni geografiche. L'analisi, come sopra specificato, prenderà in esame il periodo

⁸⁰Le acque superficiali vengono definite come acque interne, ad eccezione delle sole acque sotterranee, acque di transizione e le acque costiere; mentre le acque sotterranee riguardano tutte le acque che si trovano al di sotto della superficie del suolo nella zona di saturazione e a contatto diretto con il suolo e sottosuolo (D.Lgs 152/2006 PARTE III - SEZIONE I).

⁸¹ <https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/acque-interne/monitoraggio>

compreso tra il 2017 e il 2023, poiché, dal 2013 al 2017, i campionamenti delle sostanze oggetto di studio non tenevano conto della distinzione tra isomeri lineari e ramificati.

Conseguentemente per raggiungere l'obiettivo, la parte metodologica è stata strutturata in cinque parti:

- 1. Presentazione del Caso Ri.Mar-MITENI**, quale primo sito di rilevante contaminazione, con diffusione dell'inquinamento sia in acque superficiali che sotterranee di un vasto territorio della regione del Veneto compreso tra le province di Verona, Vicenza e Padova. Nel medesimo territorio regionale (e quindi non solo limitato alle province sopra specificate) si ravvisano ulteriori fonti di contaminazione derivanti da altre attività produttive e dai consumatori stessi, che rilasciano PFAS attraverso processi di produzione o mediante l'eliminazione di rifiuti contenenti questi specifici *forever chemicals*.
- 2. Presentazione del sistema di campionamento ARPAV e conseguente "pulizia" del database originale**, concentrandosi sulle matrici delle acque superficiali e sotterranee. I campionamenti effettuati dall'Agenzia risalgono al 2013, ma il nostro studio si focalizza sui dati raccolti a partire dal 2017. Il database comprende tutte le sostanze PFAS, con informazioni dettagliate riguardanti le province, i comuni, le date di prelievo, la tipologia di acqua campionata, le coordinate geografiche e le sostanze rilevate. In particolare, sono stati approfonditi lo studio dell'acido perfluorottanoico (PFOA) e dell'acido perfluorottansolfonico (PFOS), in considerazione degli elementi di fatto specificati nei capitoli precedenti. Infine, è stata analizzata la metodologia di campionamento adottata da ARPAV, considerando i diversi livelli di aggregazione territoriale, come le aree geografiche, facendo riferimento alle delibere della Giunta Regionale (DGR) per la suddivisione delle zone di monitoraggio, e le Aziende - Unità Locale Socio-Sanitaria (AULSS);
- 3. Elaborazione di una rappresentazione cartografica dell'inquinamento** per le tre tipologie di acque (qui si includono anche le acque risorgive) attraverso il sistema informativo geografico QGis. L'utilizzo del software ha fornito un quadro più dettagliato del livello di contaminazione da sostanze per- e polifluoroalchiliche PFAS nella regione Veneto, nel particolare da PFOA e PFOS su base spaziale.
- 4. Presentazione dei metodi statistici per l'elaborazione dei dati.** L'elaborazione è stata condotta utilizzando metodi di statistica descrittiva e basata su indici di concentrazione e di

dispersione come **media, mediana, valore min-max della distribuzione dati, deviazione standard**, per fornire una sintesi accurata dei dati raccolti, e specificando l'organizzazione dei dati tabellari all'interno del database. Questo approccio permette di strutturare i dati in modo sistematico, facilitando la presentazione, l'interpretazione e la discussione dei risultati che verrà realizzata nel capitolo successivo.

- 5. Esplicitazione di come avviene il confronto tra i dati di statistica descrittiva che verranno raccolti, con quanto stabilisce la normativa, al fine di valutare per le diverse annualità la condizione di inquinamento.** Pertanto, il richiamo a quanto stabilisce la normativa vigente in ordine agli standard di qualità ambientale SQA e valori soglia è essenziale per contestualizzare l'analisi dei dati. In particolare, viene fissato tra i requisiti minimi di prestazione dei metodi analitici un limite di quantificazione (LOQ)⁸² uguale o inferiore al 30% del valore dello standard di qualità medio annuo SQA-MA. Questo permette di valutare con precisione la gravità della situazione nella regione Veneto in relazione alla presenza di PFOA e PFOS e di comprendere meglio l'entità della contaminazione e il livello di rischio associato per l'ambiente e la salute pubblica.

4.2 Caso Ri.Mar-MITENI

Ai fini della nostra analisi, è indispensabile fare riferimento al caso Ri.Mar-MITENI, difatti la società di Trissino (VI), specializzata nella produzione di composti chimici fluorurati tra cui i PFAS, è stata coinvolta in controversie ambientali legate alla contaminazione delle falde acquifere e dei corpi idrici circostanti a causa dello scarico di queste sostanze, particolarmente dannose per l'ambiente e la salute umana⁸³.

Quanto di seguito esposto è una breve sintesi dei documenti presentati nel sito PFAS-Land e da altre fonti documentali a carattere scientifico, che propongono una cronistoria degli eventi occorsi a

⁸²Il limite di quantificazione (*Quantification limit* LOQ), è il limite di concentrazione fino a cui è possibile ottenere strumentalmente una misura di tipo quantitativo con relativa incertezza (5% o 1%) e viene valutato come 10 volte la deviazione standard della misura effettuata sul bianco (Thompson, M., Ellison, S. L. R., & Wood, R. (2002). Harmonized guidelines for single-laboratory validation of methods of analysis (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 74(5), 835–855. <https://doi.org/10.1351/pac200274050835>)

⁸³ <https://www.arpa.veneto.it/++api++/temi-ambientali/acque-interne/sostanze-perfluoro-alchiliche-pfas>

Trissino (VI)⁸⁴. Negli anni Sessanta, la famiglia Marzotto, già proprietaria di numerose industrie tessili, decise di aprire un piccolo laboratorio di ricerca per lo sviluppo di prodotti antimacchia e repellenti all'olio e all'acqua, destinati al trattamento dei tessuti. Questo laboratorio, denominato Ri.Mar (Ricerche Marzotto), divenne nel 1970, insieme all'azienda statunitense 3M, leader mondiale nella produzione di PFAS di prima generazione, con una produzione annuale stimata di 12 tonnellate di PFOA e che è andata progressivamente aumentando nei decenni successivi (Girardi *et al.*, 2019).

A seguito di problemi legati alla contaminazione delle acque, sia nel comune di Trissino che in quelli limitrofi, nel 1979 Ri.Mar fu portata a processo e interruppe la sua produzione per un periodo di 14 mesi. Successivamente nel 1988, l'azienda venne acquisita da MIT-ENI S.r.l., una *joint venture* tra Mitsubishi Italia S.p.A. ed Enichem Synthesis S.p.A., poi divenuta società per azioni nel 1992 e quindi legalmente denominata MITENI S.p.A.

Negli anni successivi la MITENI S.p.A continuò a produrre PFAS ed a contaminare il territorio circostante e nel 1994, fu inserita tra le "aziende insalubri di prima classe"⁸⁵, divenendo una delle

⁸⁴ Peruffo, A. (2022). BREVE STORIA SOCIALE DELLA MITENI nei territori contaminati da Pfas.

<https://pfas.land/2022/12/31/31-dicembre-2022-breve-storia-sociale-della-miteni-nei-territori-contaminati-da-pfas-una-prima-traccia-per-il-futuro/>

⁸⁵ “Le manifatture o fabbriche che producono vapori, gas o altre esalazioni insalubri o che possono risultare in altro modo pericolose alla salute degli abitanti sono indicate in un elenco diviso in due classi. La prima classe comprende quelle che debbono essere isolate nelle campagne e tenute lontane dalle abitazioni; la seconda quelle che esigono speciali cautele per l'incolumità del vicinato. Questo elenco, compilato dal Consiglio superiore di sanità, approvato dal Ministro per l'interno, sentito il Ministro per le corporazioni, e serve di norma per l'esecuzione delle presenti disposizioni. Le stesse norme stabilite per la formazione dell'elenco sono seguite per iscriverci ogni altra fabbrica o manifattura che posteriormente sia riconosciuta insalubre. Una industria o manifattura la quale sia iscritta nella prima classe, può essere permessa nell'abitato, quante volte l'industriale che l'esercita provi che, per l'introduzione di nuovi metodi o speciali cautele, il suo esercizio non reca nocimento alla salute del vicinato. Chiunque intende attivare una fabbrica o manifattura, compresa nel sopra indicato elenco, deve quindici giorni prima darne avviso per iscritto al podestà, il quale, quando lo ritenga necessario nell'interesse della salute pubblica, può vietare l'attivazione o subordinarla a determinate cautele. Il contravventore è punito con l'ammenda da lire duecento a duemila” Art. 216 del REGIO DECRETO 27 luglio 1934, n. 1265. (Fonte: Normattiva.it)

prime attività industriali in Veneto ad essere sottoposta alla prima versione della Direttiva Seveso ⁸⁶
87.

Tra il 1968 e il 2011, l'impresa era dedita alla produzione di PFAS a catena lunga, oltre ad altri composti chimici, mentre la produzione di PFAS a catena corta iniziò a partire dal 2013. Nel 2012 l'azienda cessò l'attività di sintesi del PFOA, sia come prodotto grezzo, quindi liquido, sia sotto forma di sale ammonio, ma ne continuò, tuttavia, la produzione fino al 2013, grazie al recupero da prodotti di scarto (Girardi *et al.*, 2019). Dal 2013, la produzione di PFAS si concentrò su composti a catena corta, contenenti 5 o 6 atomi di carbonio, con una produzione totale di 100 tonnellate, pari a un quinto dei livelli raggiunti durante il picco produttivo (Girardi *et al.*, 2018).

Tra il 2005 e il 2006 il progetto europeo PERFORCE avviò un primo campionamento per stabilire la presenza di sostanze perfluoroalchiliche nelle acque e sedimenti dei maggiori fiumi europei, da questi studi risultò che il fiume Po presentava le concentrazioni massime di acido perfluorooctanoico (PFOA) tra tutti i fiumi europei (McLachlan *et al.*, 2007).

Tabella 17 Concentrazioni progetto PERFORCE (Fonte: McLachlan *et al.*, 2007)

	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA
Fiume Po	19 ng/l	6,6 ng/l	200 ng/l	1,46 ng/l
Fiume Danubio	3,0 ng/l	0,95 ng/l	16,4 ng/l	0,27 ng/l

A seguito delle evidenze emerse dal progetto PERFORCE, nel periodo 2011-2013, l'Istituto di Ricerca sulle Acque del Centro Nazionale delle Ricerche (IRSA CNR)⁸⁸ condusse uno studio commissionato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare per indagare la contaminazione da PFAS nei principali bacini fluviali italiani⁸⁹.

⁸⁶ Direttiva 82/501/CEE del Consiglio, del 24 giugno 1982, sui rischi di incidenti rilevanti connessi con determinate attività industriali - Direttiva SEVESO I

⁸⁷ DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 17 maggio 1988, n. 175, Attuazione della direttiva CEE n. 82/501, relativa ai rischi di incidenti rilevanti connessi con determinate attività industriali (Fonte: Normattiva.it)

⁸⁸ https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/reach/progettoPFAS_ottobre2013.pdf

⁸⁹ Zagli C, Serrini G. Il progetto di ricerca per la valutazione del rischio ambientale e sanitario associato alla contaminazione da sostanze perfluoroalchiliche (PFAS) nei principali bacini fluviali italiani.
https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/reach/Zagli_PFAS.pdf.

Gli obiettivi principali dello studio furono:

- studio della distribuzione di PFAS nei principali bacini fluviali italiani;
- identificazione delle sorgenti;
- valutazione del rischio per il consumatore (acqua potabile e mitili);
- stima degli effetti ecotossicologici e ecologici.

Nel fiume Po, le concentrazioni di acido perfluorottansolfonico (PFOS) risultarono generalmente basse (<10 ng/l), mentre il PFOA, pur in diminuzione, fu ancora rilevato nel bacino del Po (circa 20 ng/l), con lo stabilimento di Spinetta Marengo identificato come principale fonte. Nel bacino Fratta Gorzone e fiume Brenta, il composto dominante risultò essere il PFBS (acido perfluorobutansolfonico), utilizzato come sostituto del PFOS, con concentrazioni molto più elevate, legate presumibilmente allo stabilimento MITENI. Inoltre, nel bacino Agno-Fratta Gorzone lo studio registrò concentrazioni di PFOA superiori a 1000 ng/l per le acque potabili⁹⁰.

I risultati dello studio portarono ARPAV (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto) a istituire un piano di monitoraggio ambientale per valutare l'estensione geografica e il livello di contaminazione da PFAS nelle acque sotterranee e potabili, e per identificare le fonti della contaminazione. L'analisi chimica dei campioni di acqua potabile prelevati in Veneto nel 2013 indicò la presenza di PFOA, PFBA, PFBS, PFPeA, PFHxA, PFOS, PFHpA e PFHxS (Pitter *et al.*, 2020).

Il 4 luglio 2013, ARPAV eseguì un campionamento di verifica presso l'impianto MITENI e, la settimana successiva, emise una nota ufficiale in cui avvisava gli enti locali dell'inquinamento da PFAS, identificando l'azienda come principale responsabile. L'impianto scaricava infatti effluenti trattati nell'impianto di depurazione comunale, i cui scarti, miscelati con quelli di altre attività industriali (principalmente fabbriche tessili e conciarie), venivano convogliati in un'unica condotta fognaria al fiume Fratta-Gorzone (collettore A.R.I.C.A.). Questo rese difficile distinguere gli effluenti provenienti dall'impianto fluorochimico da quelli di altre attività industriali. Tuttavia, fu riscontrata una forte somiglianza tra la composizione dei PFAS nello scarico primario dell'impianto e quella all'uscita del collettore fognario (Valsecchi *et al.*, 2015).

Nonostante il ruolo di MITENI nella contaminazione delle acque fosse ormai accertato, nel 2014 l'azienda ottenne una nuova autorizzazione integrata ambientale (AIA) e passò alla produzione di

⁹⁰ https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/reach/progetto_PFAS_sintesi.pdf

PFAS di nuova generazione (GenX⁹¹ e cC6O4). Lo stesso anno, la Regione Veneto richiese all'Istituto Superiore di Sanità (ISS) consulenza e supporto scientifico per valutare l'esposizione della popolazione alle sostanze per- e polifluoroalchiliche e il rischio per la salute attraverso uno studio di biomonitoraggio umano⁹². Lo studio mirò a caratterizzare l'esposizione ai PFAS sia sulla popolazione generale dell'area di impatto e di controllo (480 campioni), sia sugli allevatori e agricoltori, operatori e residenti di aziende agricole e zootecniche (120 campioni). Per il primo gruppo campionato sul totale, 240 soggetti erano residenti nei Comuni sotto impatto e gli altri 240 nei Comuni a presumibile esposizione di fondo; i gruppi erano inoltre stratificati per sesso e per classi di età: 40 persone per ognuna delle classi di età "20-29", "30-39" e "40-49" anni (residenti da almeno 10 anni). Per il gruppo degli operatori e residenti di aziende zootecniche sul totale vengono analizzati 60 soggetti per sesso, per le stesse classi di età prese in riferimento nella popolazione generale (residenti da almeno 10 anni).

Le sostanze di cui è stata determinata la concentrazione nel siero includono: acido perfluorobutanoico (PFBA), acido perfluoropentanoico (PFPeA), acido perfluoroesanoico (PFHxA), acido perfluorooctanoico (PFOA), acido perfluorononanoico (PFNA), acido perfluorodecanoico (PFDA), acido perfluoroundecanoico (PFUdA), acido perfluorododecanoico (PFDoA), perfluorobutansulfonato (PFBS), perfluoroesansulfonato (PFHxS) e acido perfluorooctansolfonico (PFOS). I risultati mostrarono concentrazioni superiori all'interno del gruppo degli allevatori rispetto alle concentrazioni rilevate nei "Non esposti" e, in alcuni casi, anche superiori a quelle degli "Esposti" della popolazione generale, indicando una maggiore esposizione presumibilmente dovuta al consumo di alimenti prodotti localmente. In entrambi i gruppi sono stati rilevati livelli elevati di PFOS e PFOA, rispettivamente nel 100% e nel 99% dei campioni analizzati⁹³.

In quegli anni, iniziarono anche le prime conferenze pubbliche organizzate dalle associazioni ambientaliste. Nel 2016, il *Giornale di Vicenza* pubblicò i primi articoli sulla questione PFAS. L'8 maggio 2016, genitori e cittadini dei paesi contaminati dalla MITENI marciarono davanti al sito con i propri figli, piantando simbolicamente fiori "contaminati" (la "marcia dei pfiore"). L'anno seguente,

⁹¹L'acido dimero esafluoropropilenico, noto anche come GenX, è un composto chimico appartenente alla famiglia dei PFAS introdotto nel 2009 come alternativa al PFOA, PFAS a catena lunga noti per gli effetti negativi sulla salute umana e sull'ambiente (Fonte: <https://www.fosan.org/genx-i-rischi-emergenti-dellalternativa-ai-pfas/>).

⁹²Allegato A alla Delibera della Giunta Regionale n. 565 del 21 aprile 2015, Biomonitoraggio di sostanze perfluoroalchiliche (PFAS) in alcuni ambiti del territorio della Regione del Veneto, Regione del Veneto.

⁹³ <https://sian.aulss9.veneto.it/index.cfm?method=mys.apridoc&iddoc=832>

pur essendo ormai dichiarata l'emergenza PFAS, la Regione Veneto concesse una nuova AIA alla MITENI autorizzando l'installazione di un cogeneratore (inceneritore) per migliorare l'efficienza produttiva.

Il 2017 segnò un punto di svolta nella lotta contro i PFAS. La Regione Veneto sviluppò un piano di sorveglianza sanitaria per la popolazione esposta⁹⁴ e in Italia arrivò Robert Bilott, l'avvocato americano noto per la causa contro la DuPont. Bilott affermò che MITENI fu per anni in contatto, attraverso le riunioni periodiche tra le società produttrici di PFAS, in seno a gruppi quali APME e *PlasticsEurope*. La situazione riguardante i PFAS in Veneto generò un conflitto crescente tra diverse autorità, e una pressione sulla dirigenza MITENI a intraprendere azioni di contrasto e riparazione che portò l'azienda a richiedere, alla fine del 2018, il fallimento. Nel 2021 la Corte di Assise di Vicenza ha iniziato il processo rinviando a giudizio 13 imputati e le 3 società susseguitesesi nel tempo per avvelenamento delle acque e disastro ambientale.

4.3 Sistema di campionamento ARPAV e pulizia del database originale

Grazie ai risultati dello studio eseguito da IRSA CNR, precedentemente citato, dal 2013 i laboratori ARPAV perfezionarono le procedure per la determinazione analitica nelle acque delle sostanze PFAS, con riferimento al metodo ISO 25101:2009, ed iniziarono i primi campionamenti di acque superficiali in una quindicina di punti lungo i principali corsi d'acqua a valle della zona di maggior contaminazione (provincia di Vicenza). Il Dipartimento Regionale Laboratori di ARPAV ricercò un totale di 13 sostanze: PFOA, PFOS, PFBA, PFBS, PFP_eA, PFH_xA, PFH_pA, PFH_xS, PFNA, PFDeA, PFUnA, PFDoA, PFHpS; mentre dal 2018 vennero aggiunte anche HFPO-DA e cC6O4.

Il progetto di tesi, pertanto, si concentra sull'analisi dei dati raccolti da ARPAV, con particolare attenzione alla matrice acqua, in quanto include un maggior numero di campionamenti relativi a tre tipologie di acque: sotterranee, superficiali e sorgive.

L'analisi esplorativa preliminare permette di comprendere la struttura del dato rilevato da ARPAV, e attraverso il sito istituzionale⁹⁵, l'Agenzia fornisce un database aggiornato concernente il

⁹⁴<https://www.regione.veneto.it/documents/10793/12935055/Bollettino+PFAS+n.+17+-+maggio+2023.pdf/95cd8c4c-8790-4725-b5b0-f3cd089b51cc>

⁹⁵<https://www.arpa.veneto.it/dati-ambientali/open-data/idrosfera/concentrazione-di-sostanze-perfluoroalchiliche-pfas-nelle-acque-prelevate-da-arpav>

campionamento delle sostanze per- e polifluoroalchiliche, in un periodo di tempo tra luglio 2013 a gennaio 2024.

Il dataset dei punti campionati è organizzato in questo modo:

- Provincia;
- Comune;
- Data del prelievo;
- Tipologia di acqua campionata;
- Latitudine;
- Longitudine;
- Acido perfluorobutanoico (PFBA);
- Acido perfluorobutansolfonico (PFBS);
- Acido perfluoropentanoico (PFPeA);
- Acido perfluoropentansolfonico (PFPeS);
- Acido perfluoroesanoico (PFHxA);
- Acido perfluoroesansolfonico (PFHxS);
- Acido perfluoroeptanoico, (PFHpA)
- Acido perfluoroeptansolfonico (PFHpS);
- Acido perfluoroottanoico (PFOA), Isomero lineare, Isomeri ramificati espressi come PFOA lineare e isomeri totali;
- Acido perfluoroottansolfonico (PFOS), Isomero lineare, Isomeri ramificati espressi come PFOS lineare e isomeri totali;
- Acido perfluorononanoico (PFNA);
- Acido perfluorononansolfonico (PFNS);
- Acido perfluorodecanoico (PFDA);
- Acido perfluoroundecanoico (PFUnA);
- Acido perfluoroundecansolfonico (PFUnS);
- Acido perfluorododecanoico (PFDoDA);
- Acido perfluorododecansolfonico (PFDoS);
- Acido perfluorotridecanoico (PFTrDA);
- Acido perfluorotridecansolfonico (PFTrDS);
- Perfluoro Methyl Heptanoic Acid, somma di 5 isomeri (PMHpA);
- Perfluoro Methyl Heptan Sulfonat, somma di 6 isomeri (PMHpS);
- Acido dodecafluoro-3H-4,8-diossanoico (ADONA);

- Perfluoro 2-Propoxy -Propanoic Acid (HFPO-DA);
- 4:2-Fluorotelomero solfonato (4:2-FTS);
- 6:2-Fluorotelomero solfonato (6:2-FTS);
- 8:2-Fluorotelomero solfonato (8:2-FTS);
- Ammonio ((2,2,4,5-tetrafluoro-5-(trifluorometossi) -1,3-diossolan-4-il)ossi) difluoro acetato (C6O4);
- Cloro-perfluoropolietere carbossilato Cl-PFPE-CA.

Prima di procedere con le analisi, il dataset originale è stato modificato e pulito in base alle esigenze dell'obiettivo di ricerca.

Difatti l'elaborato va ad esaminare esclusivamente i punti campionati da ARPAV a partire dal 2017 al 2023, prendendo in considerazione le tre tipologie di acque. Questa scelta è stata necessaria poiché, dal luglio 2013 a fine maggio 2017, l'acido perfluorottanoico PFOA e l'acido perfluorottansolfonico PFOS furono campionati (ng/l) senza considerare gli isomeri lineari e ramificati di entrambe le sostanze. Qui di seguito una tabella esplicativa della problematica:

Provincia	Comune	Data del prelievo	Acido Perfluoro Ottanoico (ng/L)	Acido Perfluoro Ottanoico isomero Lineare (ng/L)	Acido Perfluoro Ottanoico isomeri Ramificati (ng/L)	Acido Perfluoro Ottanoico come PFOA (ng/L)	Acido Perfluoro Ottanoico totali (ng/L)	Perfluoro Ottan Solfonato (ng/L)	Perfluoro Ottan Solfonato isomeri (ng/L)	Perfluoro Ottan Solfonato espressi come PFOS (ng/L)	Perfluoro Ottan Solfonato totali (ng/L)
TV	PAESE	22/05/2017	11					<10			
TV	PAESE	22/05/2017	34					<10			
TV	PAESE	22/05/2017	<10					<10			
TV	PAESE	22/05/2017	26					<10			
PD	STANGHELLA	23/05/2017	58					<10			
VR	VALEGGIO SUL MINCIO	23/05/2017					<10				<10
VR	VALEGGIO SUL MINCIO	23/05/2017					<10				<10
VI	LONGARE	24/05/2017					144				23
VI	NANTO	24/05/2017					139				18
VR	COLOGNA VENETA	24/05/2017		550	203	753		26	15		41
VR	COLOGNA VENETA	24/05/2017		52	21	73		<10	<10		

Figura 9 Problematica campionamento anno 2017 ARPAV

Questo perché le sostanze perfluoroalchiliche possono essere presenti in ambiente come miscele di isomeri lineari e ramificati in rapporti variabili in funzione del processo produttivo utilizzato. La telomerizzazione, ad esempio, porta all'ottenimento di prodotti a catena lineare, mentre la fluorurazione elettrochimica produce sia isomeri lineari (n-PFOS~70%, n-PFOA~78%) che ramificati (b-PFOS~30%, b-PFOA~225%). Queste differenze strutturali influiscono sulle proprietà

chimiche e fisiche del composto, che a loro volta, influenzano il comportamento ambientale, la degradazione, la ripartizione, il bioaccumulo, la tossico-cinetica e la tossicità. Questa problematica non permette quindi di creare una serie storica affidabile dal 2013 al 2024, e quindi si è preferito predisporre l'analisi in relazione ad un periodo storico in cui il metodo di rilevazione del dato è stato omogeneo.

Per questo studio quindi il dataset è stato ripulito eliminando tutte le sostanze per- e polifluoroalchiliche non pertinenti al nostro obiettivo. Al fine del progetto, pertanto è stato valutato il livello di contaminazione per le due sostanze di maggiore rilievo, ovvero l'acido perfluorooctanoico (PFOA) e l'acido perfluorooctansolfonico (PFOS) e per le quali è oramai robusta l'evidenza scientifica degli effetti che le stesse causano sulla salute e sull'ambiente.

La decisione di prendere in analisi il PFOA e PFOS è giustificata dal fatto che questi composti vengono caratterizzati da una catena carboniosa totalmente fluorurata e lunga, ovvero con più di sei atomi di carbonio. Fino ad oggi i due composti risultano essere i più studiati della famiglia dei PFAS, proprio a causa della loro persistenza in ambiente (OECD, 2013) e dei potenziali effetti nocivi sulla salute umana (Fenton *et al.*, 2020). Inoltre, vengono utilizzati nella realizzazione di una vasta gamma di prodotti: “il classico esempio sono le pentole antiaderenti, ma li possiamo trovare in schiume antincendio, carta e packaging, tende e tappeti, vestiti ed equipaggiamento per outdoor, scioline; e poi ancora prodotti per la pulizia, ammorbidenti, vernici, pitture, inchiostri, adesivi, prodotti medicali, prodotti per la persona (shampoo, balsami, protezioni solari, cosmetici, dentifricio, filo interdentale) e molto altro ancora”.⁹⁶

Inoltre, la loro resistenza alla degradazione chimica e biologica li rende particolarmente problematici, poiché tendono ad accumularsi negli organismi viventi e nell'ambiente. Per questo motivo, sono state introdotte normative che limitano l'uso e la presenza di queste sostanze. Come citato nel capitolo precedente, a livello internazionale sia l'acido perfluorooctanoico PFOA che l'acido perfluorooctansolfonico PFOS sono inclusi nella Convenzione di Stoccolma sugli inquinanti organici persistenti (POPs). Questa convenzione, che mira ad eliminare o ridurre l'uso di POPs, ha inserito il PFOS nel 2009 mentre il PFOA nel 2019, vietando la produzione e l'uso con alcune esenzioni limitate. In Europa i POPs sono disciplinati grazie al Regolamento POPs n. 1021/2019, e, recentemente, è intervenuto, per lo specifico della disciplina dei rifiuti, il regolamento (UE) 2022/2400, dove per il

⁹⁶ <https://ilbolive.unipd.it/it/news/pfas-cosa-sono-qual-stato-ricerca>

PFOA e i suoi sali viene fissato un limite di 1 mg/kg mentre per i composti ad esse correlati di 40 mg/kg.

Il PFOA, insieme suoi sali e composti correlati, inoltre è incluso, dal 2019, nell'allegato III della Convenzione di Rotterdam, che promuove la responsabilità condivisa e la cooperazione tra i paesi nell'importazione di determinate sostanze chimiche pericolose, fornendo un sistema di consenso preliminare informato (PIC).

A livello europeo il Regolamento REACH (*Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals*) costituisce lo strumento principale per la regolazione delle sostanze chimiche. Il PFOS, rispetto al PFOA, viene regolamentato per primo all'interno del REACH. A partire dal luglio 2020, il PFOA, i suoi sali e i composti correlati sono stati aggiunti all'elenco delle sostanze soggette a restrizioni ai sensi del Regolamento. Il divieto include la produzione, l'uso, l'immissione sul mercato e l'importazione nell'UE in concentrazioni superiori a 25 ppb per il PFOA o 1.000 ppb per i relativi composti.

In Europa la Direttiva 2000/60/CE istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque, mentre in Italia le normative riguardanti le acque vengono regolate dal decreto legislativo n. 152 del 2006, "Norme in materia ambientale". Per le acque potabili la Direttiva (UE) 2020/2184, impone limiti stringenti alla concentrazione di PFAS: stabilisce un limite combinato di 0,1 µg/l per la somma di tutte le sostanze PFAS e un limite di 0,5 µg/l per i PFAS totali.

4.4 Definizione dell'area di analisi dei dati

Il progetto di tesi è stato sviluppato successivamente identificando aree geografiche omogenee di elaborazione dei dati di campionamento sulla base delle statistiche descrittive e delle elaborazioni GIS.

4.4.1 Livelli di aggregazione

Il database è stato quindi suddiviso in due livelli di aggregazione: zone di impatto e Aziende Sanitarie Locali della regione del Veneto. Questa scelta è stata motivata dal fatto che le zone di impatto identificano le aree a maggiore o minore criticità in ordine alla problematica e per le quali è importante verificare come la stessa evolva nell'arco temporale considerato. La scelta, inoltre, di considerare le Aziende Sanitarie Locali è motivata dal fatto di offrire alle stesse un dato aggiornato in ordine alla situazione sul territorio relativa all'inquinamento da

PFOA e PFOS nella matrice acqua, al fine di permettere loro di operare in un contesto di maggiore conoscenza informativa.

In relazione alle zone di impatto va specificato quanto segue.

1. La DGR n. 2133 del 23/12/2016 è una Deliberazione della Giunta Regionale del Veneto che riguarda la sorveglianza sanitaria sulla popolazione esposta a sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS)⁹⁷. Questa, inoltre, individua le aree di impatto interessate dalla contaminazione da PFAS, suddivise secondo un gradiente di rischio in Area rossa A e B (area di impatto), Area arancione (area riferita alle captazioni autonome ad uso potabile), Area gialla (area di attenzione), e Area verde (area di approfondimento). Nel 2018, la DGR n. 691 del 21/05/2018 aggiorna le aree di impatto precedentemente definite, a seguito della ricostruzione aggiornata del plume di inquinamento⁹⁸.

⁹⁷Il documento fornisce indicazioni operative per la prosecuzione della sorveglianza sanitaria, che include la determinazione su siero di parametri ematochimici e la valutazione del bioaccumulo di dodici sostanze PFAS nei soggetti esaminati. La sorveglianza sanitaria è basata sulla chiamata attiva della popolazione e si compone di un percorso su due livelli: il primo livello offerto a tutta la popolazione eleggibile e il secondo livello per gli individui con concentrazioni sieriche di PFAS superiori all'intervallo di riferimento (Fonte: <https://bur.regione.veneto.it/BurVServices/pubblica/DettaglioDgr.aspx?id=517040>).

⁹⁸ <https://bur.regione.veneto.it/BurVServices/Pubblica/DettaglioDgr.aspx?id=370611>.

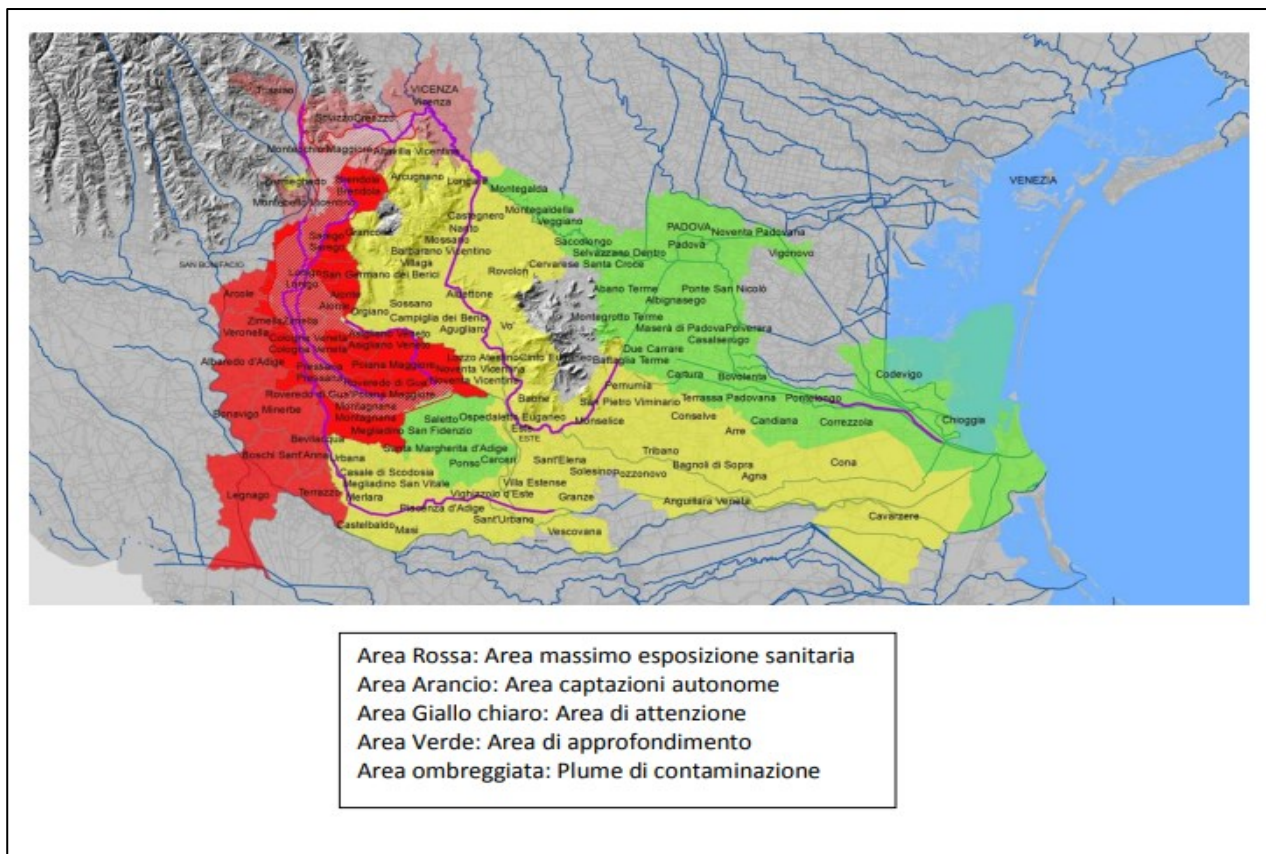


Figura 10 Mappa dell'area di esposizione da PFAS nella Regione Veneto aggiornata al 2018 (Fonte: <https://www.regione.veneto.it/>)

La caratterizzazione delle aree di impatto tiene conto dei criteri di seguito riportati:

- presenza di almeno un pozzo di captazione in cui viene accertato il superamento di uno dei limiti di performance (PFOS > 30 ng/l; PFOA > 500 ng/l; altri PFAS > 500 ng/l), definiti dal Ministero della Salute di cui alla nota prot. n. 2565 del 29/01/2014 e recepiti con la D.G.R. n. 1874 del 14/10/2014;
- utilizzo come valore di riferimento per più analisi nello stesso pozzo della media aritmetica;
- utilizzo dei dati ARPAV e dei dati provenienti dalle analisi di cui all'Allegato "A" alla D.G.R. n. 618 del 29/04/2014.

Tabella 18 Aree di impatto Rossa, Arancione e Gialla aggiornate dalla DGR n. 691 del 21/05/2018

AREA ROSSA A e B		
Agugliaro (VI)	Interessata una frazione minima del Comune	Area Rossa B
Albaredo d'Adige (VR)		Area Rossa B
Alonte (VI)		Area Rossa A
Arcole (VR)		Area Rossa B

Asigliano Veneto (VI)		Area Rossa A
Bevilacqua (VR)		Area Rossa B
Bonavigo (VR)		Area Rossa B
Borgo Veneto (PD)	Interessamento parziale del Comune	Area Rossa B
Boschi Sant'Anna (VR)		Area Rossa B
Brendola (VI)		Area Rossa A
Casale di Scodosia (PD)	Interessamento parziale del Comune	Area Rossa B
Cologna Veneta (VR)		Area Rossa A
Legnago (VR)		Area Rossa B
Lonigo (VI)		Area Rossa A
Lozzo Atestino (PD)	Interessata una frazione minima del Comune	Area Rossa B
Megliadino San Vitale (PD)	Interessata una frazione minima del Comune (Catena)	Area Rossa B
Merlara (PD)	Interessata una frazione minima del Comune	Area Rossa B
Minerbe (VR)		Area Rossa B
Montagnana (PD)		Area Rossa A
Noventa Vicentina (VI)		Area Rossa A
Orgiano (VI)		Area Rossa A
Poiana Maggiore (VI)		Area Rossa A
Pressana (VR)		Area Rossa A
Roveredo di Guà (VR)		Area Rossa A
Sarego (VI)		Area Rossa A
Terrazzo (VR)		Area Rossa B
Urbana (PD)		Area Rossa B
Val Liona (VI)	Interessamento parziale del Comune	Area Rossa B
Veronella (VR)		Area Rossa B
Zimella (VR)		Area Rossa A
AREA ARANCIONE		
Altavilla Vicentina (VI)	Interessamento parziale del Comune	Area Arancione
Arcugnano (VI)	Interessata una frazione minima del Comune	Area Arancione

Arzignano (VI)	Interessamento parziale del Comune (Confine est)	Area Arancione
Creazzo (VI)	Interessamento parziale del Comune	Area Arancione
Gambellara (VI)	Interessata una frazione minima del Comune	Area Arancione
Montebello Vicentino (VI)	Interessamento parziale del Comune	Area Arancione
Montecchio Maggiore (VI)	Interessamento parziale del Comune	Area Arancione
Monteviale (VI)	Interessata una frazione minima del Comune	Area Arancione
San Bonifacio (VR)	Interessamento parziale del Comune (Locara- Lobia)	Area Arancione
Sovizzo (VI)	Interessamento parziale del Comune	Area Arancione
Trissino (VI)	Interessamento parziale del Comune (Colombara)	Area Arancione
Vicenza	Interessamento parziale del Comune (Vicenza Ovest)	Area Arancione
AREA GIALLA		
Agna (PD)		Area Gialla
Agugliaro (VI)	Frazione maggiore	Area Gialla
Albettono (VI)		Area Gialla
Anguillara Veneta (PD)		Area Gialla
Arcugnano (VI)	Frazione maggiore	Area Gialla
Arre (PD)		Area Gialla
Bagnoli di Sopra (PD)		Area Gialla
Baone (PD)		Area Gialla
Barbarano Mossano (VI)		Area Gialla
Battaglia Terme (PD)		Area Gialla
Campiglia dei Berici (VI)		Area Gialla
Casale di Scodosia (PD)	Parziale	Area Gialla
Castegnero (VI)		Area Gialla
Castelbaldo (PD)		Area Gialla
Cavarzere (VE)		Area Gialla
Cervarese Santa Croce (PD)		Area Gialla
Cinto Euganeo (PD)		Area Gialla
Cona (VE)		Area Gialla

Conselve (PD)		Area Gialla
Este (PD)		Area Gialla
Granze (PD)		Area Gialla
Longare (VI)		Area Gialla
Lozzo Atestino (PD)	Frazione maggiore	Area Gialla
Masi (PD)		Area Gialla
Megliadino San Vitale (PD)	Frazione maggiore	Area Gialla
Merlara (PD)	Frazione maggiore	Area Gialla
Monselice (PD)		Area Gialla
Montegaldella (VI)		Area Gialla
Nanto (VI)		Area Gialla
Pernumia (PD)		Area Gialla
Piacenza d'Adige (PD)		Area Gialla
Pozzonovo (PD)		Area Gialla
Rovolon (PD)		Area Gialla
San Pietro Viminario (PD)		Area Gialla
Sant'Elena (PD)		Area Gialla
Sant'Urbano (PD)		Area Gialla
Solesino (PD)		Area Gialla
Sossano (VI)		Area Gialla
Tribano (PD)		Area Gialla
Val Liona (VI)	Parziale	Area Gialla
Vescovana (PD)		Area Gialla
Vighizzolo d'Este (PD)		Area Gialla
Villa Estense (PD)		Area Gialla
Villaga (VI)		Area Gialla
Vo' (PD)		Area Gialla

2. Oltre al livello di aggregazione per zone di impatto, sono state valutate le concentrazioni delle sostanze per ASL (Azienda Sanitaria Regionale). Ogni comune della regione appartiene ad una specifica Azienda Sanitaria Regionale e, come le altre regioni italiane, il Veneto ha una propria denominazione per queste, ovvero Aziende - Unità Locale Socio Sanitaria (AULSS) e sono:
- AULSS N.1 DOLOMITI;
 - AULSS N.2 MARCA TREVIGIANA;
 - AULSS N.3 SERENISSIMA;
 - AULSS N.4 VENETO ORIENTALE;
 - AULSS N.5 POLESANA;
 - AULSS N.6 EUGANEA;
 - AULSS N.7 PEDEMONTANA;
 - AULSS N.8 BERICA;
 - AULSS N.9 SCALIGERA.

4.4.2 Sviluppo dei dati tramite software QGis

All'interno del dataset è stato possibile associare i punti monitorati alle loro coordinate, permettendo così l'elaborazione di una rappresentazione cartografica, utilizzando il sistema informativo geografico QGis. Questo ha consentito di ottenere una visione più chiara del livello di contaminazione da PFOA e PFOS nella regione Veneto. Per questo studio, è stata utilizzata la versione 3.16.16 di QGis.

Prima di procedere con l'elaborazione all'interno del *software*, è stata aggiunta nei file Excel relativi alle tre diverse tipologie di acque la colonna "anno". Questo passaggio ha permesso di categorizzare i dati nel software, ottenendo una classificazione dettagliata in base agli anni di campionamento, che vanno dal 2017 al 2023.

Provinc	Comune	anno	Data del prelie	Tipologia di acqua campiona	Latitudi	Longitudi	Acido perfluorootanoico (ng/L) PFOA	Acido perfluorootanoico (ng/L) PFOA isomero lineare	PFOA isomeri ramificati (ng/L) PFOA espressi come PFOA	PFOA somma isomeri lineari e ramificati (ng/L) PFOA	Acido perfluorootansolfonico (ng/L) PFOS	Acido perfluorootansolfonico (ng/L) PFOS isomero lineare	PFOA isomeri ramificati (ng/L) PFOS espressi come PFOA	PFOA somma isomeri lineari e ramificati (ng/L) PFOS
PD	ABANO TERME	2017	10/01/2017	SOTTERRANEE			<10				<10			
PD	ABANO TERME	2017	10/01/2017	SOTTERRANEE			<10				<10			
VR	LEGNAGO	2017	07/02/2017	SOTTERRANEE	45,09134	11,24826		10			<10			
VR	LEGNAGO	2017	08/02/2017	SOTTERRANEE	45,08993	11,25711		20			<10			
VR	LEGNAGO	2017	08/02/2017	SOTTERRANEE	45,08537	11,25958	<10				<10			
VI	LONIGO	2017	10/02/2017	SOTTERRANEE	45,41997	11,36484		55			15			
VI	MONTECCHIO MAGGIORE	2017	13/02/2017	SOTTERRANEE	45,50761	11,38837		46			<10			
VI	MONTECCHIO MAGGIORE	2017	13/02/2017	SOTTERRANEE	45,48229	11,42024		220			19			
VI	MONTECCHIO MAGGIORE	2017	13/02/2017	SOTTERRANEE	45,48892	11,40028		94			<10			
VR	SONA	2017	13/02/2017	SOTTERRANEE	45,44631	10,88768	<10				<10			
VR	SONA	2017	13/02/2017	SOTTERRANEE	45,44455	10,89047	<10				<10			
VI	TRISSINO	2017	13/02/2017	SOTTERRANEE	45,54742	11,38518		1549			177			
VI	MONTECCHIO MAGGIORE	2017	13/02/2017	SOTTERRANEE	45,53569	11,38545		2018			369			
VI	TRISSINO	2017	13/02/2017	SOTTERRANEE	45,54611	11,38707		2446			259			
VI	MONTECCHIO MAGGIORE	2017	13/02/2017	SOTTERRANEE	45,53698	11,38111		426			69			

Figura 11 Esempio dell'aggiunta della colonna "anno" sul file Excel per le acque sotterranee

Successivamente, i tre file sono stati salvati come file di testo per essere poi importati in QGIS tramite la funzione "Aggiungi Layer Testi Delimitati". Una volta aperti, il software ha identificato automaticamente il formato come "CSV (formato di testo delimitato da virgola)". Tuttavia, poiché i dati non erano separati da virgole, è stato necessario specificare manualmente il delimitatore corretto, selezionando "Punto e virgola" tramite l'opzione "Delimitatori personalizzati". Le opzioni predefinite per "Record e Campi" sono solitamente sufficienti, e attivando l'opzione "Identifica i tipi di campo", QGIS ha riconosciuto autonomamente la tipologia dei dati, distinguendo tra colonne numeriche e testuali, riducendo il rischio di errori durante le elaborazioni successive.

Un parametro cruciale per la corretta rappresentazione geografica dei dati è la sezione "Definizioni della Geometria", che specifica dove il software può trovare le informazioni necessarie per la georeferenziazione. In modo automatico, QGIS ha associato il "Campo X" alla longitudine e il "Campo Y" alla latitudine. Infine, è stato assegnato il corretto sistema di riferimento spaziale (SR), ovvero l'EPSG:4326 - WGS 84, che rappresenta il sistema di coordinate geografiche per longitudine e latitudine.

Di seguito lo *screenshot* dei parametri precedentemente descritti per l'importazione di un file CSV.

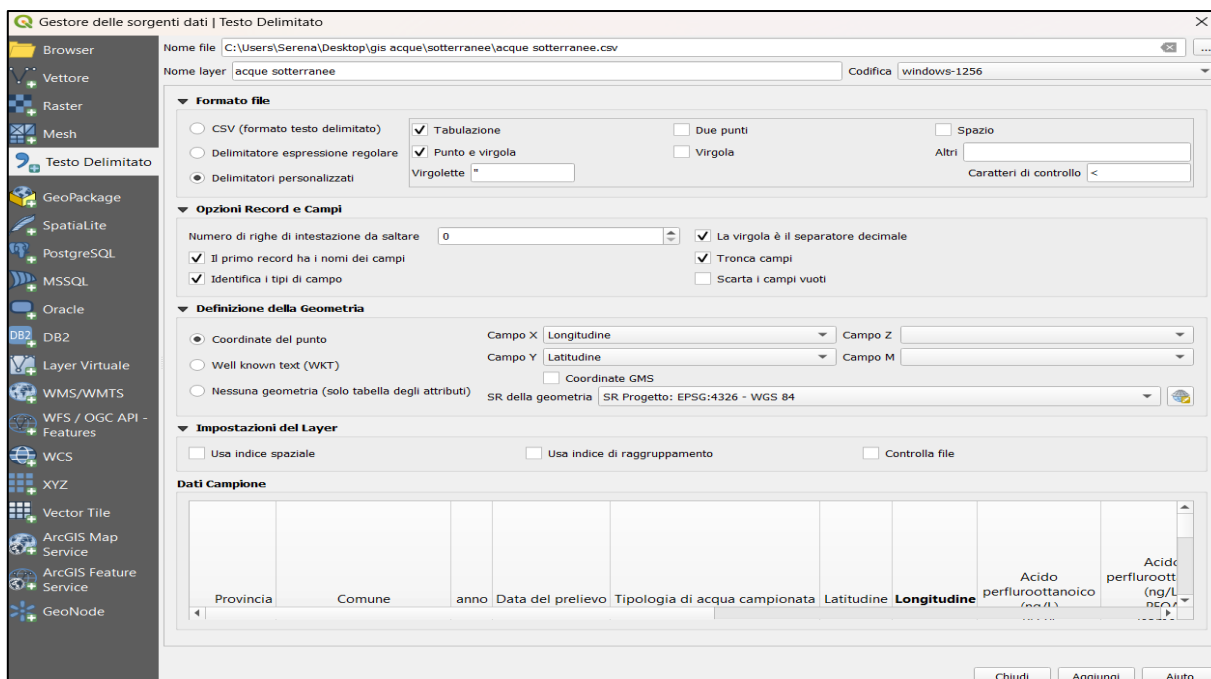


Figura 12 Funzione "Aggiungi Layer Testo Delimitato"

Impostati correttamente tutti i parametri, il *layer* è stato aggiunto al progetto e sul foglio verranno visualizzati i punti di riferimento geografico corrispondenti al database di origine per le tre tipologie di acque.

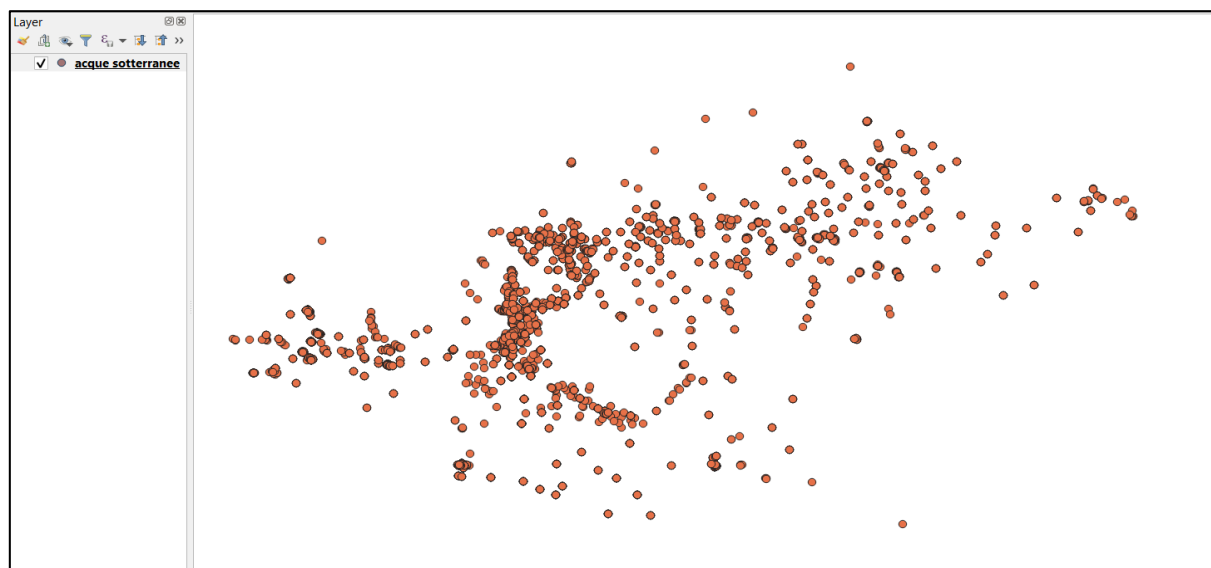


Figura 13 Visualizzazione del Layer sul foglio di progetto QGIS

Per una migliore verifica e visualizzazione dei punti, è possibile accedere all'opzione "Apri tabella attributi" tramite il menù (tasto destro del mouse). All'interno della tabella vengono visualizzati tutti i parametri che descrivono i dati importati, consentendo un'analisi dettagliata delle informazioni associate a ciascun punto georeferenziato.

	Provincia	Comune	anno	Data del prelievo	già di acqua camp	Latitudine	Longitudine	Acido perfluorottanoico (ng/L) PFOA	Acido perfluorottanoico (ng/L) PFOA isomero lineare	PFOA isomeri ramificati (ng/L) PFOA isomeri ramificati espressi come PFOA lineare	PFOA somma isomeri lineare e ramificati (ng/L) PFOA isomeri totali
3255	VI	MONTECCHIO ...	2019	23/09/2019	SOTTERRANEE	45,50761	11,38837	NULL	43	5	43
3256	VR	PESCANTINA	2019	23/09/2019	SOTTERRANEE	45,49939	10,86578	NULL	59	5	59
3257	VI	ALTAVILLA VICE...	2019	23/09/2019	SOTTERRANEE	45,52061	11,47811	NULL	455	117	572
3258	VR	PESCANTINA	2019	23/09/2019	SOTTERRANEE	45,49954	10,86754	NULL	8	5	8
3259	VR	PESCANTINA	2019	23/09/2019	SOTTERRANEE	45,50162	10,8678	NULL	282	16	298
3260	VR	PESCANTINA	2019	23/09/2019	SOTTERRANEE	45,50218	10,86834	NULL	207	10	217
3261	VR	PESCANTINA	2019	23/09/2019	SOTTERRANEE	45,50204	10,86843	NULL	112	5	112
3262	VR	PESCANTINA	2019	23/09/2019	SOTTERRANEE	45,50123	10,8674	NULL	263	19	282
3263	VI	LONIGO	2019	24/09/2019	SOTTERRANEE	45,36024	11,37426	NULL	759	191	950
3264	VR	PESCANTINA	2019	24/09/2019	SOTTERRANEE	45,50149	10,86794	NULL	220	16	236
3265	VI	SAREGO	2019	24/09/2019	SOTTERRANEE	45,43363	11,41504	NULL	1157	312	1469

Figura 14 Visualizzazione della tabella attributi del Layer

La semplificazione della rappresentazione grafica, avviene classificando il layer tramite la funzione "Simbologia" all'interno del pannello "Proprietà del layer". In particolare, è stata scelta la modalità di visualizzazione "Categorizzato" dal menu a tendina, selezionando come campo di classificazione il parametro "anno". Successivamente, il software ha eseguito la categorizzazione automatica attraverso l'opzione "Classifica". Il risultato finale è una distribuzione dei punti in base all'anno di campionamento, facilitando l'analisi spaziale e la comprensione dell'elaborato geografico.

La Figura 7 rappresenta ciò che si andrà a visualizzare una volta scelto di categorizzare il layer dei dati per anno:

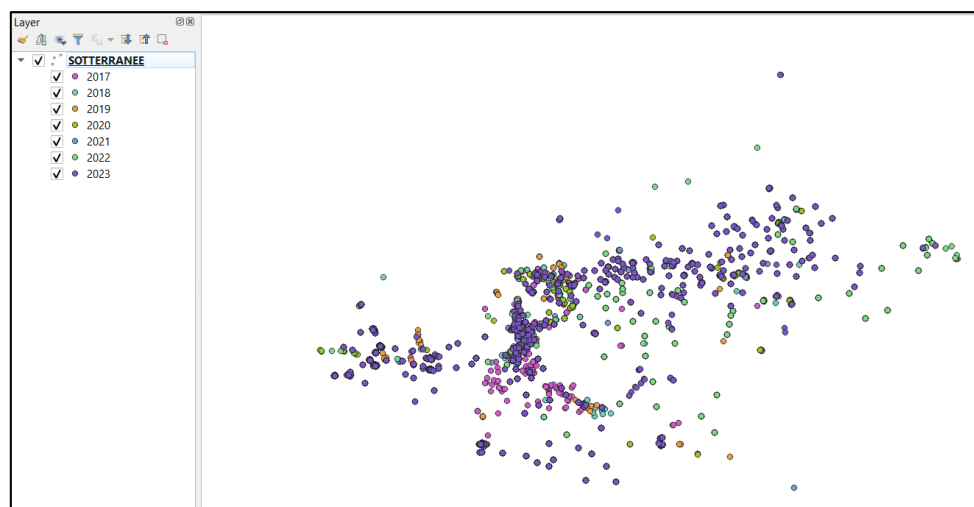


Figura 15 Visualizzazione del layer categorizzato sul foglio del progetto QGis

In seguito, per elaborare le mappe geografiche relative ai tre tipi di acque, è stato scaricato dal Geoportale dei Dati Territoriali della Regione Veneto il *layer r_veneto:c0104011_comuni*. Utilizzando la funzione "Aggiungi layer WFS/OGC API Features", è stato possibile importare il *layer* scaricato e visualizzare in modo ottimale i punti di campionamento all'interno dei confini della regione.

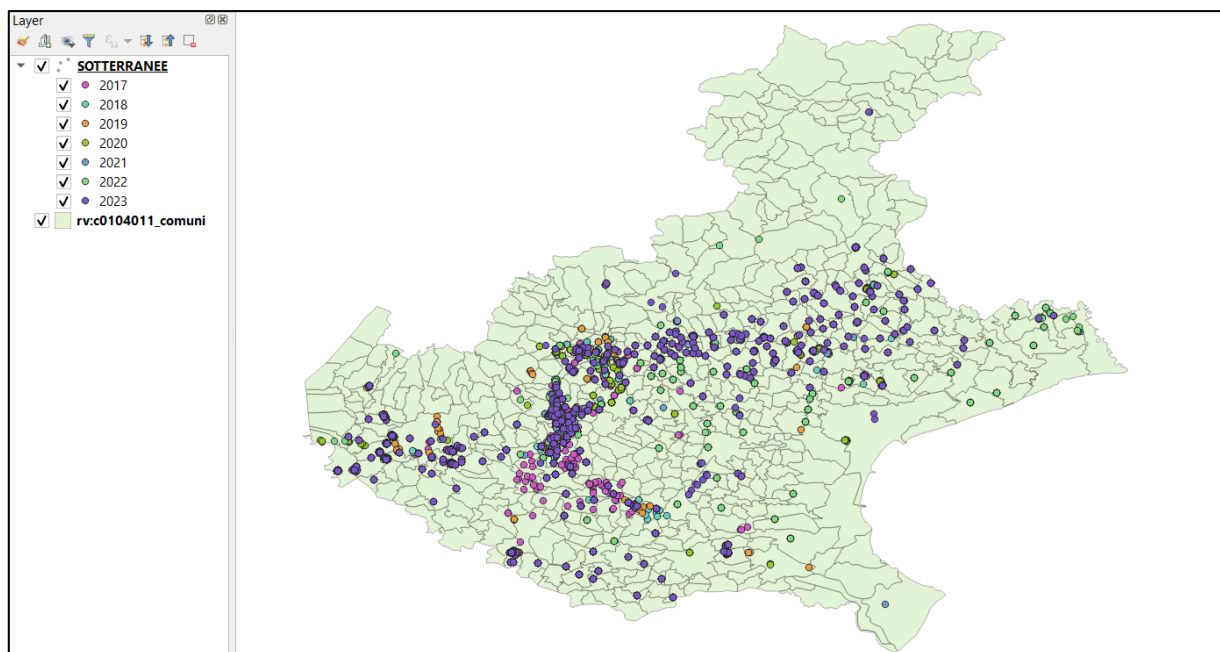


Figura 16 Aggiunta dei confini della regione Veneto

La stampa su mappa degli elementi in analisi è stata realizzata utilizzando l'opzione "Gestore del Layout", disponibile nel menù di progetto di QGIS. I layout di stampa rappresentano un'interfaccia che simula un foglio di diverse dimensioni, su cui è possibile aggiungere vari elementi. Una volta selezionato il foglio della dimensione desiderata (A4), attraverso l'opzione "Aggiungi mappa" è stata inserita la vista del progetto di QGIS, permettendo di adattare la mappa alle dimensioni del foglio. Per migliorare la leggibilità, è stata inserita una legenda utilizzando l'opzione "Aggiungi Legenda", e le mappe in formato A4, corrispondenti ai tre tipi di acque, sono state salvate ed esportate in formato JPG tramite la funzione "Opzione Esportazione Immagine". Queste saranno illustrate nel capitolo successivo, dedicato ai risultati del progetto di tesi.

4.5 Elaborazione dei dati e metodi statistici

Nel corso del progetto di tesi, una volta ripulito il database originario di ARPAV, è stata condotta un'analisi dettagliata delle concentrazioni di PFOA e PFOS rilevate nelle tre tipologie di acque, con

particolare attenzione agli anni dal 2017 al 2023. Inizialmente dal file originale di ARPAV sono stati estrapolati i dati per le tre tipologie di acque, distinte successivamente in tre diversi file Excel.

Questo passaggio è risultato necessario per articolare il processo di analisi in diverse fasi metodologiche che hanno permesso di organizzare, filtrare e sintetizzare i dati al fine di ottenere risultati statistici significativi.

- **Filtraggio dei Dati iniziali:**

Per cominciare, i dati grezzi sono stati estratti dal foglio "Foglio 1" del file Excel originario per ognuna delle acque. Questi dati comprendono tutte le misurazioni effettuate nel periodo di studio. Successivamente, sono stati applicati filtri per selezionare esclusivamente i dati relativi agli anni compresi tra il 2017 e il 2023, assicurando così che l'analisi fosse circoscritta a questo intervallo temporale specifico.

- **Creazione di fogli di lavoro per ogni anno in analisi:**

Dopo aver filtrato i dati, sono stati creati sette fogli di lavoro separati, uno per ciascun anno dal 2017 al 2023. Questo passaggio è stato fondamentale per organizzare i dati in modo che ogni foglio contenesse esclusivamente le misurazioni dell'anno corrispondente. Tale suddivisione ha facilitato l'analisi delle variazioni annuali e ha permesso un confronto più preciso dei dati tra gli anni.

- **Analisi specifica di PFOA e PFOS:**

Per analizzare specificamente le concentrazioni di PFOA e PFOS, sono stati creati due ulteriori fogli di lavoro: uno dedicato al PFOA e uno al PFOS. In ciascuno di questi fogli, sono state sviluppate tre tabelle che descrivono le concentrazioni per ogni comune campionato da ARPAV. Questa viene strutturata nel seguente modo:

- Comune;
- codice zona: Area rossa A e B (ARA e ARB), Area arancione (AAR), Area gialla (AGA) e Area verde (AVA);
- AULSS di appartenenza: indica la rispettiva Azienda Unità Locale Socio Sanitaria di appartenenza del comune campionato;
- sette colonne temporali: Ogni colonna rappresenta un anno dal 2017 al 2023, permettendo di tracciare l'evoluzione temporale delle concentrazioni di PFOA e PFOS.

Per ciascun comune e anno sono state calcolate le seguenti statistiche:

- 1^a tabella: il calcolo della **media** viene computato a partire dalle concentrazioni rilevate per ogni comune per ogni anno di indagine. Questo valore medio rappresenta la concentrazione media annua di PFOA o PFOS di ciascun comune, fornendo una misura centrale delle concentrazioni rilevate (Livingston, 2004);
- 2^a tabella: il calcolo della **deviazione standard** è stato eseguito per misurare la variabilità delle concentrazioni attorno alla media ed è essenziale per comprendere quanto le concentrazioni osservate variano rispetto alla media annuale per ogni comune (Livingston 2004);
- 3^a tabella: è stata misurata la **media della deviazione standard** per fornire un indicatore dell'andamento complessivo della variabilità delle concentrazioni nel tempo, aiutando a valutare la consistenza dei dati raccolti per ogni comune nel corso degli anni.

Successivamente, la prima tabella relativa al calcolo della **media** è stata trasferita e copiata in due ulteriori file Excel: uno per le aree di impatto (ARA, ARB, AAR, AGA, AVA) e un altro per le AULSS.

Le tre tabelle risultanti, riguardanti le concentrazioni medie per i comuni, sono state utilizzate per condurre un'analisi statistica descrittiva dettagliata (Kaur *et al.*, 2018). Pertanto, per ogni sostanza (PFOA e PFOS), sono stati calcolati i seguenti indici di dispersione facendo riferimento al medesimo periodo temporale:

- **Conteggio**
- **Media**
- **Mediana:** Valore centrale che separa la metà superiore dalla metà inferiore dei dati, utile in caso di distribuzioni asimmetriche;
- **Range interquartile (IQR):** Misura la dispersione dei dati tra il primo e il terzo quartile, utile per valutare la variabilità centrale dei dati e identificare eventuali outliers;
- **Valori min-max:** I valori minimo e massimo rilevati per ciascun comune e anno, utili per identificare estremi e potenziali anomalie;
- **Limite inferiore e limite superiore.**

Infine, a partire dal set di dati ottenuto, sono stati costruiti dei **boxplot** per rappresentare graficamente la distribuzione delle concentrazioni di PFOA e PFOS negli anni in analisi.

Un *boxplot* è oggi una tecnica standard per rappresentare graficamente il riepilogo a 5 numeri, che include il valore minimo, il valore massimo, i quartili superiore e inferiore, e la mediana. L'obiettivo principale di questi grafici è fornire una sintesi della distribuzione dei dati, del grado di dispersione e dell'eventuale presenza di valori estremi (*outlier*). Inoltre, i boxplot permettono di evidenziare eventuali asimmetrie (*skewness*) nella distribuzione, che si manifestano quando i baffi o la scatola non sono equidistanti dalla mediana, suggerendo una tendenza dei dati a concentrarsi verso l'alto o il basso (Potter, 2006).

Nei grafici a scatola e baffi, la simmetria e l'asimmetria riflettono la distribuzione dei dati rispetto alla mediana. Un *boxplot* simmetrico si ha quando i valori sono distribuiti in modo uniforme attorno alla mediana, che si trova al centro della scatola, e i baffi (che rappresentano i valori al di fuori del range interquartile) hanno lunghezze simili su entrambi i lati. L'asimmetria si verifica quando i dati non sono distribuiti uniformemente. Nell'asimmetria positiva (o asimmetria verso destra), la media è maggiore della mediana, la quale si trova più vicina al limite inferiore della scatola. I baffi sono più lunghi verso destra, indicando la presenza di valori più lontani dalla mediana nella parte superiore della distribuzione. Nell'asimmetria negativa (o asimmetria verso sinistra), la mediana è più vicina al limite superiore della scatola e la mediana è maggiore della media. I baffi sono più lunghi verso sinistra, suggerendo la presenza di valori lontani dalla mediana nella parte inferiore della distribuzione (Springer, 2008)⁹⁹. I grafici verranno discussi e interpretati nel capitolo successivo, dedicato ai risultati.

4.6 SQA e valori soglia

⁹⁹ *Box plot*. (2008). In *Springer eBooks* (pp. 55–57). https://doi.org/10.1007/978-0-387-32833-1_43

Nel capitolo precedente “INQUADRAMENTO NORMATIVO” sono state citate le normative che trattano gli standard di qualità ambientale SQA chimici per le acque superficiali¹⁰⁰ e i valori soglia fissati per le acque sotterranee¹⁰¹ in riferimento alle sostanze per- e polifluoroalchiliche:

Tabella 19 Standard di qualità ambientale per le acque superficiali e valori soglia per le acque sotterranee.

	Standard di qualità ambientale espresso come valore medio anno		Standard di qualità ambientale espresso come concentrazione massima ammissibile		SQA Biota	Valore soglia	
	SQA-MA per acque superficiali interne	SQA-MA per altre acque di superficie	SQA-CMA per acque superficiali interne	SQA-CMA per altre acque di superficie		Acque sotterranee	Interazioni acque superficiali (*)
PFOS	6,5x10 ⁻⁴ µg/l	1,3x10 ⁻⁴ µg/l	36 µg/l	7,2 µg/l	9,1 µg/kg di peso umido	0,03 µg/l	6,5x10 ⁻⁴ µg/l
PFBA	7 µg/l	1,4 µg/l	-	-	-	-	-
PFPeA	3 µg/l	0,6 µg/l	-	-	-	3 µg/l	-
PFHxA	1 µg/l	0,2 µg/l	-	-	-	1 µg/l	-
PFBS	3 µg/l	0,6 µg/l	-	-	-	3 µg/l	-
PFOA	0,1 µg/l	0,02 µg/l	-	-	-	0,5 µg/l	0,1 µg/l

(*) Tali valori sono cautelativi anche per gli ecosistemi acquatici e si applicano ai corpi idrici sotterranei che alimentano i corpi idrici superficiali e gli ecosistemi terrestri dipendenti. Le regioni, sulla base di una conoscenza approfondita del sistema idrologico superficiale e sotterraneo, possono applicare ai valori di cui alla colonna (*) fattori di attenuazione o diluizione. In assenza di tale conoscenza, si applicano i valori di cui alla medesima colonna.

Per una corretta valutazione del rispetto degli standard di qualità (SQA-MA e SQA-CMA), la normativa italiana fissa, tra i requisiti minimi di prestazione dei metodi analitici, un limite di quantificazione (LOQ) uguale o inferiore al 30% del valore dello standard di qualità medio annuo SQA-MA per le acque superficiali (D.Lgs. n. 219 del 2010).

Dal 2013 a settembre 2017 il LOQ dei metodi analitici dei laboratori ARPAV per tutti i PFAS era pari a 10 ng/l (0,01 µg/l); da ottobre 2017 è stato portato a 5 ng/l (0,005 µg/l), valore adeguato a tutti i

¹⁰⁰ La **Direttiva Europea 2013/39** e il **Decreto legislativo 172 del 2015** fissano gli SQA nelle acque superficiali per un totale di 45 sostanze tra cui 6 composti appartenenti alla famiglia dei PFAS.

¹⁰¹ La **Direttiva 2006/118/CE** in Europa e il **Decreto Ministeriale 06/07/2016** fissano i valori soglia delle sostanze nelle acque sotterranee. Il decreto ministeriale stabilisce i valori soglia specifici per un totale di 57 composti, tra cui 5 composti facenti parte della famiglia dei PFAS.

PFAS (inferiore al 30% dei valori di SQA-MA) tranne che per il PFOS. Fino al 2017 pertanto i limiti di quantificazione proposti risultarono inadeguati per il PFOS poiché questi erano superiori agli SQA-MA proposti dalla direttiva e quindi non valutabile. Dal 2018, il limite di quantificazione per il PFOS è stato ulteriormente abbassato al valore di 0,2 ng/l, raggiungendo i livelli richiesti dalla normativa (particolarmente stringenti per il PFOS).

A seguito dell'acquisizione di nuova strumentazione, a luglio del 2023, il limite di quantificazione è stato ulteriormente abbassato passando da 5 a 2 ng/l (0,002 µg/l) per tutti i composti eccetto che per PFBA e PFPeA, per i quali è rimasto invariato.

- La valutazione delle concentrazioni rilevate nelle **acque sotterranee**, nel periodo compreso tra il 2017 e il 2023, è stata eseguita utilizzando come riferimento i valori soglia per le sostanze PFOA (0,5 µg/l) e PFOS (0,03 µg/l), come indicato nella Tabella 3. Tali valori sono stati convertiti in 500 ng/l per il PFOA e 30 ng/l per il PFOS, in modo da uniformarli all'unità di misura utilizzata nei dati rilevati (ng/l).

Per identificare i superamenti dei valori soglia all'interno dell'intervallo temporale considerato, è stata creata una tabella separata in Excel contenente le medie delle concentrazioni per ciascun punto di campionamento suddiviso per comune. Su questa tabella è stata poi applicata la formula $SE(A1 > 30; A1;)$, dove A1 rappresenta la cella analizzata e 30 ng/l (0,03 µg/l), ad esempio, il valore soglia del PFOS. La formula consente di restituire il valore della cella solo nel caso in cui superi il limite, lasciandola vuota in caso contrario. Questo approccio permette di visualizzare direttamente i dati che superano il valore soglia, mantenendo al contempo un formato chiaro e facilmente interpretabile.

- L'analisi delle concentrazioni nelle **acque superficiali** risulta più complessa, poiché il D.Lgs. n. 219 del 2010 stabilisce che il LOQ (limite di quantificazione) deve essere uguale o inferiore al 30% degli SQA-MA (Standard di Qualità Ambientale - Media Annuo). Tuttavia, i due LOQ fissati per il 2017 — pari a 10 ng/l fino a settembre e a 5 ng/l da ottobre a dicembre — risultarono superiori al 30% dello SQA-MA stabilito per il PFOS, pari a 0,65 ng/l ($6,5 \times 10^{-4}$ µg/l). Di conseguenza, le concentrazioni rilevate nel 2017 non possono essere considerate valutabili, poiché superavano i criteri richiesti per la corretta quantificazione.

$$LOQ = \frac{0,65 \times 30}{100} = 0,195 \text{ ng/l}$$

A partire dal 2018, il LOQ è stato ridotto a 0,2 ng/l, rendendo così possibile l'analisi delle concentrazioni rilevate negli anni successivi.

Il procedimento utilizzato per verificare il superamento degli SQA-MA nelle acque sotterranee è stato applicato anche alle acque superficiali. La formula Excel utilizzata è $SE(A1 > 100; A1;)$, dove A1 rappresenta la cella in analisi e 100 ng/l (0,1 µg/l) è l'SQA-MA per il PFOA. Questo approccio ha permesso di distinguere le concentrazioni inferiori al LOQ di 0,2 ng/l da quelle che superano l'SQA-MA di 100 ng/l per il PFOA e di 0,65 ng/l per il PFOS. Dall'analisi è emerso che, per quanto riguarda il PFOS, che la maggior parte dei dati rilevati nei comuni supera il valore di 0,65 ng/l, ma non raggiungono mai il SQA-CMA (concentrazione massima ammissibile), che per il PFOS è fissato a 36.000 ng/l.

I dati delle statistiche descrittive verranno quindi presentati sia in forma tabellare sia sotto forma di grafici box-plot per le aree di analisi identificate.

4.7 Conclusione

In questo capitolo è stata descritta la metodologia adottata per valutare il livello di contaminazione da PFOA e PFOS nelle acque sotterranee e superficiali della regione Veneto, con particolare riferimento al periodo 2017-2023 al fine di comprendere se la situazione, in anni recenti, presenti elementi significativi di criticità rispetto a quanto prescritto dal disposto normativo.

Particolare rilevanza è stata attribuita al caso Ri.Mar-MITENI, che rappresenta uno dei principali episodi di contaminazione ambientale da PFAS nella regione. La società, situata nella zona di Trissino (VI), è stata identificata come una delle principali fonti di inquinamento da PFAS, con un impatto devastante sia sulle acque sotterranee che superficiali nelle province di Vicenza, Verona e Padova. Il ruolo di MITENI come fonte primaria della contaminazione fu confermato dalle indagini condotte negli anni¹⁰², dal 2013 infatti ARPAV eseguì un campionamento di verifica presso l'impianto e avviò un piano di monitoraggio delle sostanze per- e polifluoroalchiliche nelle acque del Veneto.

L'analisi è stata condotta sui dati forniti da ARPAV¹⁰³, applicando tecniche di elaborazione statistica e georeferenziazione tramite Excel e QGIS. È stato adottato un approccio rigoroso per l'identificazione dei superamenti dei valori stabiliti dalla normativa italiana tramite D.Lgs. 172/2015 e D.M. 2016 per le acque superficiali e sotterranee, rispettivamente. I risultati vengono quindi presentati nel prossimo capitolo.

¹⁰² https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/reach/progettoPFAS_ottobre2013.pdf

¹⁰³ <https://www.arpa.veneto.it/dati-ambientali/open-data/idrosfera/concentrazione-di-sostanze-perfluoroalchiliche-pfas-nelle-acque-prelevate-da-arpav>

CAPITOLO 5

RISULTATI

5.1 Introduzione

In questo capitolo vengono presentati i risultati ottenuti dall'analisi delle concentrazioni di PFOA e PFOS nelle diverse tipologie di acque del Veneto. A partire dai dati raccolti e analizzati dall'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV) per singolo comune della regione, l'obiettivo specifico di questa tesi consta nell'analizzare i livelli di contaminazione riscontrati nelle acque sotterranee, superficiali e nelle sorgenti e risorgive tra il 2017 e il 2023, al fine di valutare se le concentrazioni campionarie in relazione a diverse aree di impatto superino o meno i limiti definiti dalle normative vigenti.

Come già specificato nel capitolo precedente “MATERIALE E METODI”, dopo un'attenta pulizia e organizzazione del database fornito da ARPAV, “*Concentrazione di sostanze perfluoroalchiliche (PFAS) nelle acque prelevate da ARPAV*”¹⁰⁴, i PFAS di maggiore interesse sotto il profilo ambientale e sanitario sono il PFOA e il PFOS, per gli stessi è stata analizzata la loro distribuzione geografica e l'evoluzione della loro concentrazione nelle diverse tipologie di acque nel tempo. I dati sono stati inoltre aggregati per due livelli di indagine: (1) per aree di impatto identificate dalla DGR n. 691 del 21/05/2018 e per (2) Aziende Unità Locali Socio-Sanitarie (AULSS). Il primo livello di aggregazione è stato inteso per dare conto alla cittadinanza su come il fenomeno dell'inquinamento da PFOA e PFOS stia evolvendo negli anni più recenti, il secondo livello di aggregazione serve per dare informazione ai soggetti preposti alla tutela della salute nel territorio in ordine alla presenza di tali inquinanti che, come la letteratura scientifica di materia evidenzia, determinano e, purtroppo per la loro natura di persistenza, anche chiamati *forever chemicals*, continueranno a determinare degli impatti su specifiche tipologie di patologie. Nell'annesso statistico (ALLEGATO 1), vengono inoltre riportati i dati di concentrazione media annua (ng/l) di PFOA e PFOS, delle tre diverse tipologie di acque, a livello di singolo comune del Veneto, fornendo in questo modo un quadro dettagliato della distribuzione delle concentrazioni campionate nel periodo di studio, con l'obiettivo di dare informazioni puntuali alla cittadinanza.

¹⁰⁴ Data di ultima modifica del dato: 18 marzo 2024. Descrizione: Concentrazioni dei composti perfluoroalchilici (PFAS) rilevati su campioni di acque, prelevati da ARPAV, nel periodo compreso tra il 02/07/2013 e il 30/01/2024, e analizzati da ARPAV, ordinati per Provincia, Comune e data del prelievo disponibile al sito: <https://www.arpa.veneto.it/dati-ambientali/open-data/idrosfera/concentrazione-di-sostanze-perfluoroalchiliche-pfas-nelle-acque-prelevate-da-arpav>

Per fornire una chiara interpretazione dei risultati il capitolo è stato suddiviso in questo modo:

1. Analisi del sistema di campionamento realizzato da ARPAV dal 2017 al 2023 con rappresentazione tramite QGis.

In questa sezione vengono esaminati i punti di campionamento di PFOA e PFOS nelle tre principali tipologie di acque campionate (acque sotterranee, acque superficiali e sorgenti risorgive) del Veneto. Per supportare la comprensione della distribuzione spaziale delle sostanze, sono state generate **mappe geografiche** tramite il software QGis, che rappresentano graficamente le concentrazioni di PFOA e PFOS negli anni 2017, 2020 e 2023. L'analisi spaziale è stata inoltre condotta a due **livelli di aggregazione geografica**, ovvero per le aree di impatto (area rossa, arancione, gialla e verde) e per le Aziende Unità Locali Socio-Sanitarie (AULSS).

2. Analisi con statistiche descrittive delle concentrazioni di PFOA e PFOS per aree di impatto.

Nel paragrafo verranno analizzate le aree di impatto definite dalla Regione Veneto secondo la DGR n. 691 del 21/05/2018, suddivise in base al livello di contaminazione da PFAS e alla tipologia di esposizione sanitaria. Saranno descritte le caratteristiche delle diverse zone (Aree rossa A e B, arancione, gialla e verde) e confrontate con l'area di controllo, che include i comuni non direttamente interessati dalla classificazione ufficiale ma comunque campionati. Questo confronto permetterà di evidenziare le differenze nelle concentrazioni dei contaminanti e di valutare l'effettiva diffusione dell'inquinamento, fornendo un quadro complessivo delle dinamiche ambientali e delle criticità osservate.

3. Analisi con statistiche descrittive delle concentrazioni di PFOA e PFOS per Aziende Unità Locali Socio-Sanitarie (AULSS).

Successivamente è stata effettuata una valutazione delle concentrazioni di contaminanti rilevate nelle diverse Aziende Unità Locali Socio-Sanitarie (AULSS), con l'obiettivo di evidenziare le differenze tra le aree in termini di impatto ambientale e sanitario. I dati sono stati confrontati con le concentrazioni medie registrate nei comuni della regione, al fine di individuare eventuali variazioni significative su scala territoriale più ampia e ottenere un quadro dettagliato della distribuzione della contaminazione da PFOA e PFOS, nonché della sua incidenza sulle aree di competenza delle diverse AULSS.

4. Confronto con i limiti normativi e standard di qualità ambientale. In questa sezione vengono confrontati i valori di concentrazione di PFOA e PFOS rilevati nelle acque sotterranee e superficiali con i limiti normativi stabiliti a livello nazionale. Nello specifico per le acque

sotterranee, viene eseguito un confronto con i **valori soglia** definiti dal D.M. 6 luglio 2016, mentre per le acque superficiali, il confronto viene fatto con gli **standard di qualità ambientale (SQA)** indicati dal D.Lgs. 172/2015. Sono stati applicati algoritmi Excel per identificare i superamenti dei limiti.

5. **Discussione dei risultati.** La discussione critica dei risultati ottenuti analizza le tendenze generali delle concentrazioni di PFOA e PFOS nelle tre tipologie di acque. Vengono identificate le principali aree di criticità, ossia i comuni, le zone di impatto e le AULSS in cui si sono osservati i maggiori superamenti dei limiti normativi o le concentrazioni più elevate.

5.2 Distribuzione spaziale dei punti di campionamento

Nel paragrafo 4.4.2 “Sviluppo dei dati tramite software QGis” del capitolo precedente, Capitolo 4 “MATERIALI E METODI”, per comprendere meglio la distribuzione spaziale delle concentrazioni delle due sostanze analizzate all’interno del Veneto e la variabilità dei livelli di contaminazione tra i vari comuni, viene illustrata la procedura seguita per la creazione delle mappe geografiche utilizzando il software QGis.

Le mappe sono state create categorizzando i dati in base alle tre tipologie di acque (superficiali, sotterranee e sorgive e risorgive) e ai punti di campionamenti scelti da ARPAV nel periodo di analisi. L’obiettivo di queste rappresentazioni grafiche è fornire un quadro chiaro e comprensibile della contaminazione tramite l’uso di colori distinti per ogni anno.

La Tabella 1 evidenzia il trend di crescita nel numero di punti di monitoraggio per il PFOA e il PFOS, per le tre diverse tipologie di acque analizzate. Nell’arco temporale considerato, per le acque superficiali i campioni sono aumentati del +426,38 %, per le acque sotterranee è visibile un aumento del +16,76 % e per le acque sorgenti e risorgive l’aumento percentuale dei campionamenti è pari a +88,88 %.

Tabella 20 Descrizione del numero di punti di monitoraggio negli anni per il PFOA e il PFOS (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024)

Acque	n. punti di monitoraggio							
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	TOT
Superficiali	235	479	794	934	971	1129	1238	5780
Sotterranee	1110	1348	1308	1235	1229	1251	1296	8777

Sorgenti e risorgive	18	26	28	32	37	32	34	207
----------------------	----	----	----	----	----	----	----	------------

Nello specifico e in relazione al **PFOA** e al **PFOS** sono state sviluppate un totale di 9 mappe per ciascuna sostanza, 3 per ognuna delle diverse tipologie di acque, che fanno riferimento ai campioni registrati negli anni 2017, 2020 e 2023. Le mappe vengono raffigurate successivamente tramite le Figure 1 e 2.

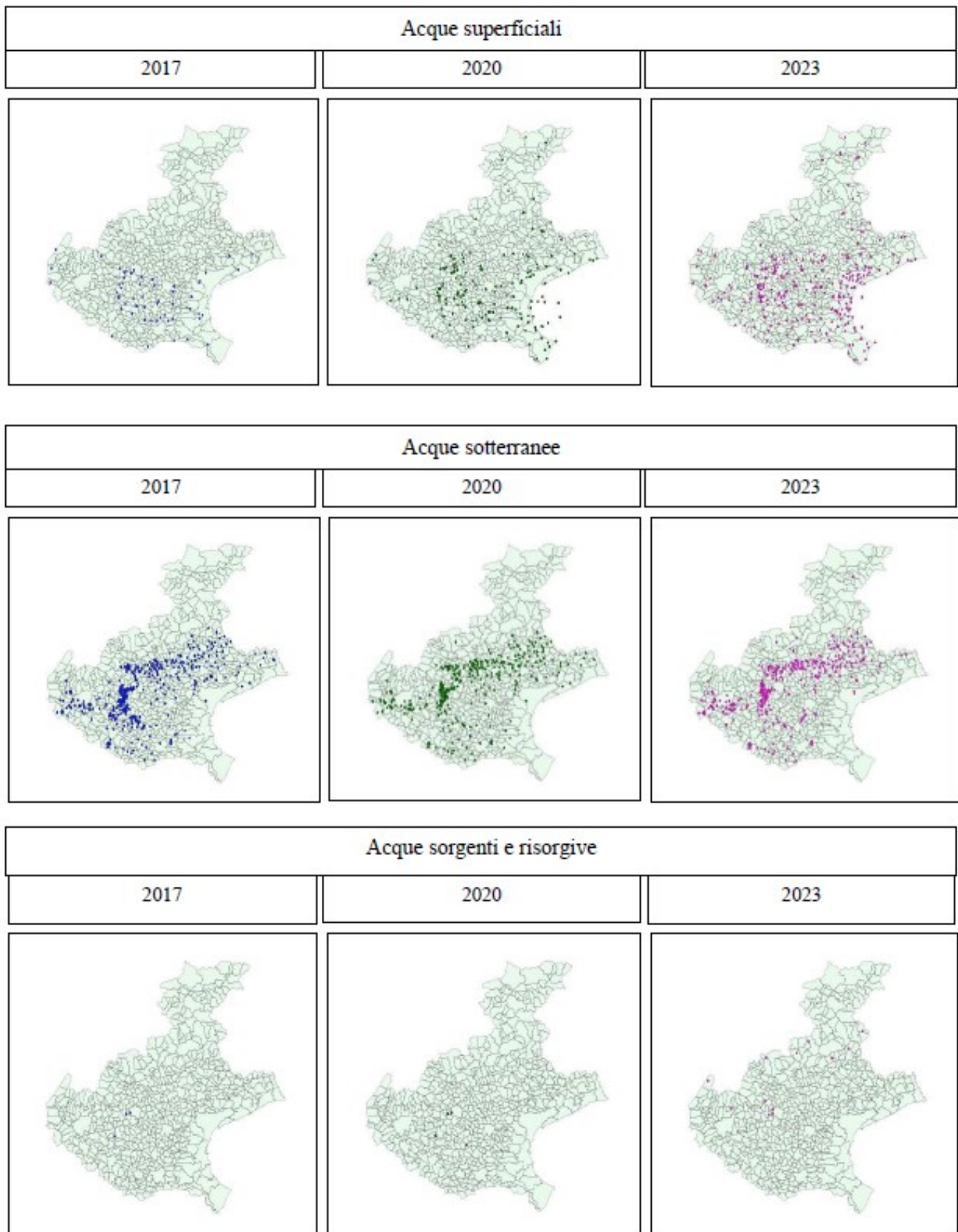


Figura 17 Distribuzione spaziale dei punti di campionamento del **PFOA** nelle acque del Veneto nei periodi 2017, 2020 e 2023.

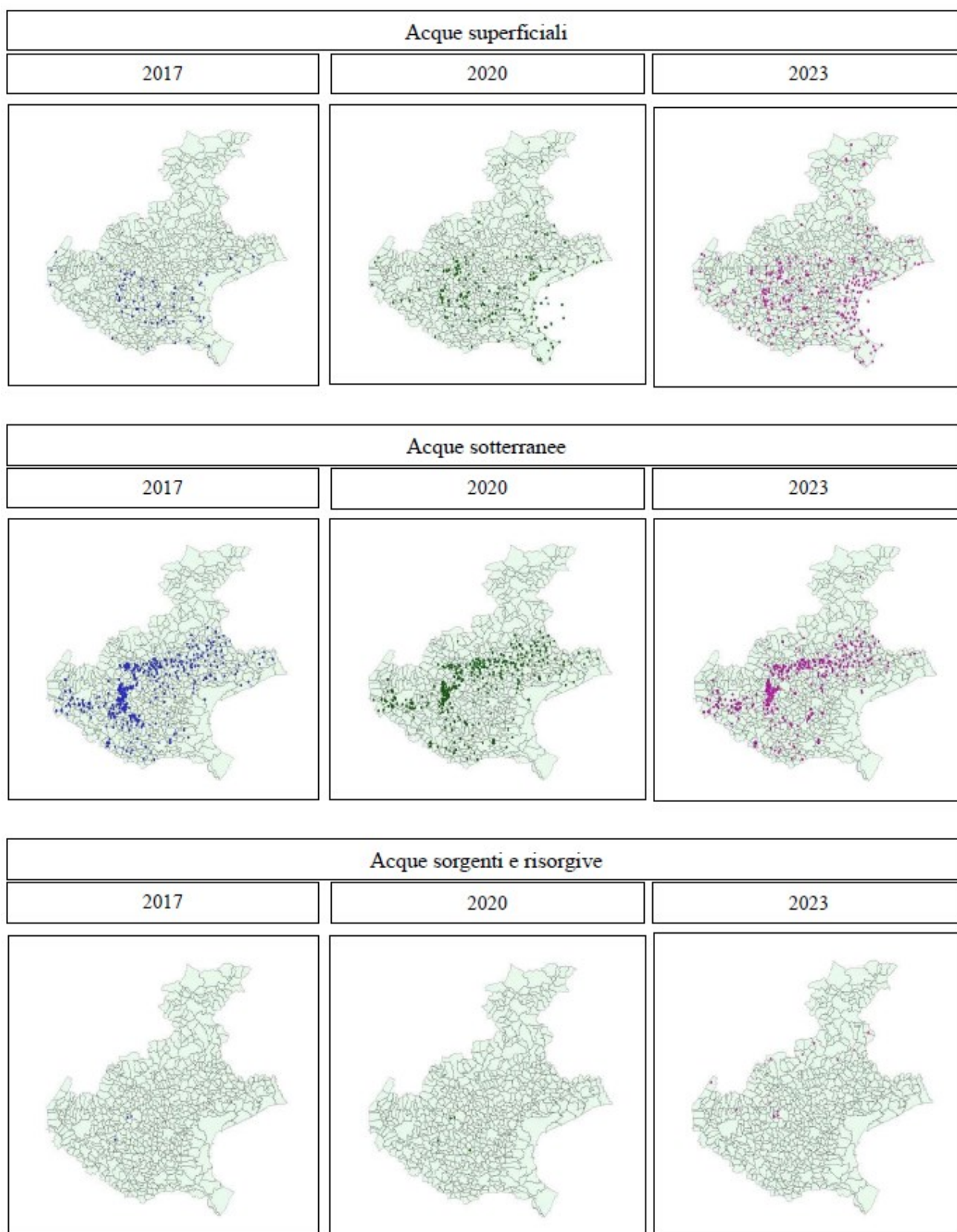


Figura 18 Distribuzione spaziale dei punti di campionamento del **PFOS** nelle acque del Veneto nei periodi 2017, 2020 e 2023.

Le prime tre mappe, in Figura 1 e 2, mostrano il campionamento di PFOA e PFOS nelle **acque superficiali** del Veneto. Come si può osservare nella mappa del 2017, si evidenzia una concentrazione particolarmente elevata di rilevamenti nelle zone centro-occidentali della regione, dove sono localizzate numerose industrie chimiche e manifatturiere, come la MITENI. La mappa del 2020 mostra i cambiamenti a tre anni di distanza, con un aumento dei punti di campionamento, sia nelle aree già ampiamente monitorate, sia, in particolare, nella parte orientale della regione. Nel 2023, la situazione rimane costante e simile a quella del 2020, con le stesse zone coinvolte e un ulteriore aumento dei punti di campionamento. Questa espansione suggerisce un crescente impegno nel monitorare la diffusione del PFOA su tutto il territorio regionale per valutare e mitigare i rischi per la salute pubblica. D'altra parte, questo fa anche capire che l'uso di un dato medio regionale per valutare l'evoluzione della concentrazione da PFAS nel tempo sarebbe poco significativo a fronte di questa specifica evoluzione del sistema di campionamento, in quanto l'aumento dei punti di analisi in parti della regione che sono meno esposte a queste sostanze rischierebbe di fare percepire al pubblico una riduzione del rischio medio regionale, cosa non vera per le aree di maggiore esposizione. Per questo motivo, si è scelto di elaborare i dati per area di impatto e per ambiti sanitari.

Nella seconda riga, delle medesime Figure, sono riportate le mappe dei campioni prelevati per le due sostanze nelle **acque sotterranee**. Diversamente dalle acque superficiali, già nella mappa del 2017 i punti di campionamento sono distribuiti in gran parte del territorio regionale, con concentrazioni sia nelle zone centro-occidentali, maggiormente colpite, sia in quelle orientali. Questa estensione dei campionamenti riflette una particolare attenzione al monitoraggio delle falde acquifere, considerate particolarmente vulnerabili alla contaminazione persistente da PFOA. Negli anni successivi, tale monitoraggio rimane costante e puntuale, come dimostrato anche dalla mappa del 2023, dove è evidente la continuità e l'assiduità dei campionamenti in tutta la regione. Le aree monitorate sono soprattutto collocate nell'area pedemontana ove è molto presente il fenomeno delle risorgive e dove sono numerosi i punti di captazione per l'acqua potabile, ma dove si colloca anche la più importante falda acquifera presente in Italia.

Per quanto riguarda le **acque sorgenti e risorgive**, come visibile dalle figure nella terza riga, i campionamenti effettuati da ARPAV per il PFOA e PFOS sono molto meno numerosi rispetto a quelli per le altre due acque. Le acque di sorgente¹⁰⁵, alimentate direttamente dalle falde, e le risorgive¹⁰⁶, che emergono naturalmente dal sottosuolo, dovrebbero essere, in linea di principio, ubicate in aree

¹⁰⁵ <https://www.treccani.it/enciclopedia/ricerca/sorgente/?search=sorgente>

¹⁰⁶ <https://www.treccani.it/enciclopedia/risorgiva/>

protette e quindi con un minore rischio di contatto diretto con i potenziali inquinanti industriali o agricoli presenti in superficie. Di conseguenza, il monitoraggio spesso si concentra sulle acque più esposte a contaminazioni dirette (superficiali e sotterranee) dove è più probabile riscontrare livelli elevati. Nel 2017 e 2020, i prelievi si concentrano principalmente nelle aree più critiche della regione, come Vicenza e Padova, mentre nel 2023, il numero di campioni aumenta e il monitoraggio si estende anche a zone più a nord. Questo ampliamento riflette un crescente interesse verso la valutazione della qualità di queste acque anche nelle aree montane e collinari, considerate meno vulnerabili in passato ma comunque rilevanti per l'equilibrio idrico del Veneto.

5.2.1 Distribuzione spaziale dei punti di campionamento per livelli di aggregazione

I dati rilevati di PFOA e PFOS nel periodo scelto sono stati esaminati considerando le diverse aree di impatto¹⁰⁷ (classificate come “codici zona”) e le Aziende Unità Locali Socio-Sanitarie (AULSS)¹⁰⁸ del Veneto. L'analisi spaziale delle sostanze, suddivisa per i livelli di aggregazione geografica e sanitaria, conferma quanto già descritto precedentemente tramite mappe in Figura 1 e 2.

- Per le **aree di impatto**, come illustrato nelle mappe in Figura 1 e 2 e descritto nella Tabella 2, i punti di campionamento delle acque nel corso degli anni evidenzia una copertura significativamente più estesa per le acque sotterranee rispetto a quelle superficiali e alle sorgenti/risorgive. Le aree di controllo, che non includono le zone di impatto diretto, hanno il numero più alto di campioni, suggerendo un approccio di monitoraggio ampio per valutare la contaminazione di fondo su tutto il territorio. La distribuzione dei punti di campionamento indica un'attenzione particolare verso le aree rosse, cioè le aree a massima esposizione sanitaria, con una densità di monitoraggio che diminuisce progressivamente nelle aree a minore esposizione.

Tabella 21 Numero di punti di monitoraggio per il PFOA e il PFOS nelle acque per le aree di impatto (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

Acque	Numero dei punti di monitoraggio
-------	----------------------------------

¹⁰⁷ Come già specificato nel Capitolo metodi, si ricorda che la classificazione adottata nella presente tesi in ordine alle aree di impatto è la seguente: Area rossa A (ARA), Area rossa B (ARB), Area arancione (ARA), area gialla AGA, area verde AVA e area di controllo (CONTR)

¹⁰⁸ Come già specificato nel Capitolo metodi, si ricorda che la classificazione adottata nella presente tesi in ordine alle Aziende Unità Locali Socio-Sanitarie (AULSS): AULSS N.1 DOLOMITI, N.2 MARCA TREVIGIANA, N.3 SERENISSIMA, N.4 VENETO ORIENTALE, N.5 POLESANA, N.6 EUGANEA, N.7 PEDEMONTANA, N. 8 BERICA e N.9 SCALIGERA.

	Area rossa A (ARA)	Area rossa B (ARB)	Area arancione (AAR)	Area gialla (AGA)	Area verde (AGA)	Area di controllo	TOT
Superficiali	729	121	330	792	516	3292	5780
Sotterranee	1263	381	1219	246	251	5417	8777
Sorgenti e risorgive	25	0	151	1	0	30	207

- Analogamente alle aree di impatto, l'analisi condotta per le **AULSS** sui punti di campionamento mostra come il monitoraggio delle acque si concentri in modo particolare su quelle sotterranee, con una copertura significativamente più estesa rispetto alle acque superficiali e alle sorgenti/risorgive.

Le AULSS non mostrano una distribuzione uniforme dei punti di monitoraggio: alcune, come la N. 8 BERICA e la N. 9 SCALIGERA, presentano un numero particolarmente elevato di punti in tutte e tre le acque, suggerendo una maggiore esposizione sanitaria o un rischio potenziale più elevato in queste aree.

Tabella 22 Numero di punti di monitoraggio per il PFOA e il PFOS nelle acque per le Aziende Unità Socio-Sanitarie (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

Acque	Numero dei punti di monitoraggio									TOT
	AU LSS N.1 DOLOMITI	AU LSS N.2 MARCA TREVIGIANA	AU LSS N.3 SERENISSIMA	AU LSS N.4 VENETO ORIENTALE	AU LSS N.5 POLESANA	AU LSS N.6 EUGANEA	AU LSS N.7 PEDEMONTEANA	AU LSS N.8 BERICA	AU LSS N.9 SCALIGERA	
Superficiali	91	274	1422	310	784	1049	90	915	845	5780
Sotterranee	37	1037	212	160	405	708	864	2674	2680	8777
Sorgenti e risorgive	4	2	0	0	0	4	12	155	30	207

In generale, la distribuzione dei punti di campionamento riflette un approccio mirato e differenziato per ciascuna tipologia di acqua, con un'attenzione maggiore riservata alle acque sotterranee, seguite

da quelle superficiali e infine dalle sorgenti e risorgive. Questa scelta sembra basarsi su una priorità che favorisce il controllo delle risorse idriche di maggiore rilevanza sanitaria e ambientale. Ciò comunque non toglie l'importanza del monitoraggio delle acque superficiali anche in relazione agli usi irrigui, che necessariamente rappresentano un vettore di contaminazione anche della catena alimentare.

5.3 Presentazione delle tabelle descrittive e grafici a linee per le Aree di impatto

Come già indicato nel sottoparagrafo 5.2.1 "Distribuzione spaziale dei punti di campionamento per livelli di aggregazione", le aree d'impatto per l'inquinamento da PFAS nel Veneto sono suddivise secondo la DGR n. 691 del 21/05/2018 e vengono classificate come:

- Area Rossa (suddivisa in A e B), caratterizzata da massima esposizione sanitaria¹⁰⁹;
- Area Arancione, che include le captazioni autonome ad uso potabile (ovvero pozzi privati) in comuni dove sono stati rilevati superamenti dei limiti di PFAS;
- Area Gialla, una zona di attenzione per il sistema di controllo delle reti ambientali, che monitora acque superficiali e sotterranee, comprese quelle per uso irriguo e per abbeverata;
- Area Verde, definita come area di approfondimento con presenza di PFAS nelle matrici ambientali, che necessita di ulteriori monitoraggi e studi.

La media aritmetica è un indice statistico comunemente utilizzato per rappresentare il valore medio di una distribuzione, ma ha una bassa idoneità ad essere utilizzata come indice statistico di concentrazione è fortemente influenzata dalla distribuzione dei dati soprattutto quanto sono presenti molti valori estremi, detti *outlier*. Questi valori anomali possono distorcere il valore della media, soprattutto in presenza di distribuzioni non simmetriche. In tali casi, è spesso più efficace utilizzare la mediana come indice di concentrazione, poiché non influenzata dagli *outlier* e rappresenta una misura più robusta.

Questo limite dell'uso della media come indicatore statistico emerge chiaramente nell'analisi delle concentrazioni di PFOA e PFOS nei comuni del Veneto. Con l'aumentare dei campioni raccolti nel

¹⁰⁹ L'Area Rossa A comprende i Comuni serviti da acquedotti inquinati prima dell'applicazione dei filtri e localizzati sopra il plume di contaminazione della falda sotterranea. Questi presentano concentrazioni di PFOA, PFOS e PFHxS significativamente più elevate. L'Area Rossa B comprende i Comuni serviti da acquedotti inquinati prima dell'apposizione dei filtri, ma esterni al plume di contaminazione della falda sotterranea (Regione Veneto, D.G.R. n. 691/2018).

tempo, infatti, il valore medio tende a diminuire, dando un'impressione di miglioramento della qualità dell'acqua che non corrisponde necessariamente a una reale riduzione della contaminazione. Tale variazione è spesso dovuta alla variabilità spaziale dei dati e al maggior numero di campionamenti realizzati anche in aree non impattate o impattate da un inquinamento di fondo. Ad ogni modo e per esaustività di trattazione, per una panoramica complessiva delle medie dei valori rilevati in tutti i comuni del Veneto, è possibile fare riferimento ai dati statistici riportati nell'ALLEGATO II, che forniscono un quadro generale della situazione, pur con le limitazioni proprie di questo indice. Pertanto, per una rappresentazione più accurata del fenomeno, si è scelto di includere ulteriori indicatori statistici, come la mediana, il range interquartile e i quartili, e la deviazione standard suddivisi per area di impatto e per sostanza specifica. Come mostrano i grafici normalizzati per le diverse aree di impatto, alcune zone evidenziano tendenze stabili o in aumento.

L'analisi qui presentata si concentra sulle acque superficiali e sotterranee, escludendo le acque sorgive e risorgive a causa di un numero insufficiente di campioni. Verranno quindi presentati tabelle descrittive e successivamente grafici per confrontare le concentrazioni medie di PFOA e PFOS tra le diverse aree, offrendo una visione dettagliata delle variazioni di contaminazione nelle varie zone di studio.

È opportuno menzionare come la disamina condotta risenta di volumi diversi di produzione delle due sostanze considerate nel corso del tempo. Questo è dovuto anzitutto ad una richiesta di mercato differente che ha privilegiato, nel contesto veneto, la produzione di PFOA, in quantità assai più elevate rispetto al PFOS. Inoltre, i volumi di produzione ed i conseguenti rilasci nelle matrici ambientali, hanno scontato tempistiche diverse nella regolamentazione specifica di queste sostanze, come chiarito nei capitoli precedenti. Infatti, mentre il PFOS è stato inserito nell'Annex B della Convenzione di Stoccolma sui POPs (inquinanti organici persistenti) nel 2009 ed ulteriormente ristretto nel 2019, la stessa Convenzione di Stoccolma ha inserito il PFOA nell'Annex A nel 2019, ben più tardi. Tali composti sono stati regolamentati dal diritto europeo nel 2010 e nel 2020 e confluiti nella regolamentazione REACH, come già evidenziato.

- **Acque superficiali**

PFOA:

Tabella 23 Tabella descrittiva del PFOA per l'area rossa A nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

ARA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	7	260,69	+/- 242,73	33,33	119,50	196,00	298,92	758,67	179,42

2018	7	194,77	+/-118,39	42,33	96,18	213,21	280,05	355,40	183,87
2019	7	231,13	+/-145,04	86,40	117,54	195,00	313,32	474,80	195,78
2020	8	236,46	+/-113,53	108,75	171,04	218,32	265,79	470,50	94,75
2021	8	221,09	+/-647,02	99,00	179,18	210,00	239,17	434,58	59,99
2022	8	252,16	+/-206,32	77,33	116,21	205,64	277,29	717,25	161,08
2023	9	235,69	+/-110,22	38,00	166,67	272,75	285,50	407,24	118,83

Risultato:

Nell'area rossa A (ARA), Tabella 4, le concentrazioni di PFOA mostrano valori elevati e una grande variabilità nelle distribuzioni. L'alta variabilità dei dati, evidenziata dalle ampie deviazioni standard, suggerisce una distribuzione non uniforme dei PFAS nell'area. Questo potrebbe essere dovuto a "hot spots" di contaminazione o a fattori ambientali che influenzano la distribuzione dei PFAS. Le medie annuali sono relativamente alte, con picchi di variabilità nel 2017 e 2021, dove la deviazione standard è molto ampia, segnalando oscillazioni notevoli tra i campioni. I valori massimi registrati sono costantemente elevati in tutti gli anni analizzati, confermando che l'area Rossa A, che comprende i comuni all'interno della zona di massima esposizione sanitaria, presenta alcune delle concentrazioni di PFOA più alte. Tra i comuni più impattati vi è sicuramente Lonigo (si veda allegato), che registra picchi significativi, come 758,67 ng/l nel 2017 e 717,25 ng/l nel 2022. Da notare inoltre che mentre la media ha un andamento decrescente, la mediana invece tende progressivamente ad aumentare ed in modo significativo. Si osserva inoltre che i dati attestano picchi massimi significativamente elevati nelle prime tre annualità, la situazione poi rientra ma nuovamente nel 2022 e nel 2023 si registrano nuovi picchi.

Discussione: Le fluttuazioni nelle concentrazioni da un anno all'altro potrebbero essere influenzate da fattori come le condizioni meteorologiche, le attività umane o le variazioni nelle pratiche di campionamento. Innanzitutto, le fluttuazioni nel rilascio dalle fonti di contaminazione, come scarichi industriali o urbani, e gli eventi climatici estremi soprattutto nella forma di precipitazioni intense potrebbero, a rigor di logica, alterare la concentrazione del contaminante nel tempo. Nei periodi di maggiore piovosità, la concentrazione di PFOA nelle acque superficiali tende a diminuire, grazie alla naturale diluizione per un maggiore apporto di acqua.

Le caratteristiche geologiche del suolo nell'area analizzata giocano un ruolo fondamentale. Il terreno, prevalentemente di tipo alluvionale, è composto da una miscela di sabbia, ghiaia e limo, una composizione che lo rende altamente permeabile e favorisce il trasporto verticale dei contaminanti.

Tuttavia, il PFOA, essendo altamente solubile in acqua, presenta una bassa affinità per le particelle argillose del suolo, il che ne limita la ritenzione e aumenta il rischio di contaminazione (Alam *et al.*, 2024; Evich *et al.*, 2022). Di conseguenza, il contaminante si sposta facilmente attraverso i sistemi idrici superficiali e, a causa della sua persistenza chimica e della resistenza alla degradazione, la sua rimozione una volta introdotto nell'ambiente risulta estremamente difficile.

Tabella 24 Tabella descrittiva del PFOA per l'area rossa B nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

ARB (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	2	51,00	+/-57,98	10,00	30,50	51,00	71,50	92,00	41,00
2018	4	89,10	+/-90,65	5,00	43,06	67,21	113,25	217,00	70,19
2019	5	24,70	+/-21,16	8,00	10,00	21,00	24,00	60,50	14,00
2020	5	45,90	+/-39,35	16,50	18,00	33,00	50,00	112,00	32,00
2021	4	30,63	+/-25,12	9,00	12,56	24,75	42,81	64,00	30,25
2022	5	26,02	+/-24,96	5,50	14,00	14,50	27,75	68,33	13,75
2023	6	23,06	+/-18,20	4,00	8,43	20,17	42,25	47,00	33,82

Risultato: La Tabella 5 mostra i valori di riferimento per l'area rossa B (ARB), ed è visibile come le concentrazioni di PFOA siano generalmente inferiori rispetto all'area rossa A. Nel 2018 si osserva un picco nella media, mentre negli anni successivi si registra una riduzione sostanziale delle concentrazioni. Tuttavia, l'alta deviazione standard del 2018 suggerisce la presenza di casi isolati di contaminazione anomala, come quello registrato nel comune di Urbana, che aumentano la variabilità dei dati attorno al valore medio. Negli anni successivi, i livelli di PFOA si sono stabilizzati, con una tendenza generale alla diminuzione delle concentrazioni medie. Ad ogni modo la tendenza sia della media che della mediana è verso una riduzione delle concentrazioni di PFOA nelle acque superficiali.

Discussione: L'area rossa B, come l'area rossa A, è definita come zona di massima esposizione sanitaria, in quanto l'acqua potabile ricevuta dai comuni di questa area proveniva da acquedotti che attingevano da fonti contaminate nell'ARA. Ciò avrebbe comportato il trasferimento dei PFAS nelle reti idriche e l'utilizzo di acqua contaminata sia per l'uso umano nei diversi contesti di utilizzo, ma anche per l'uso agricolo soprattutto per l'irrigazione di piccoli orti familiari che normalmente utilizzano l'acqua potabile, contribuendo alla contaminazione indiretta dell'area. Nonostante ciò, la contaminazione in ARB non ha raggiunto i livelli elevati riscontrati nell'Area Rossa A, probabilmente a causa della distanza dalle fonti principali di inquinamento.

Tabella 25 Tabella descrittiva del PFOA per l'area arancione AAR nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AAR (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazion e standard	Minim o	Q1	Median a	Q3	Massim o	IQR
2017	4	144,50	+/-234,08	19,00	27,63	31,75	148,63	495,50	121,00
2018	6	213,03	+/-227,82	9,00	15,25	177,50	360,81	531,08	345,56
2019	4	189,80	+/-185,05	26,00	81,69	141,48	249,59	450,25	167,90
2020	4	68,11	+/-47,77	20,00	31,25	67,75	104,61	116,95	73,36
2021	4	60,81	+/-50,19	15,40	27,85	49,50	82,46	128,82	54,61
2022	4	73,53	+/-61,06	13,00	25,00	76,00	124,53	129,11	99,53
2023	6	176,79	+/-246,15	28,00	42,48	78,50	152,77	667,75	110,30

Risultato: Nell'area arancione, Tabella 6, che comprende le captazioni autonome ad uso potabile nei comuni dove sono stati rilevati superamenti dei limiti di PFAS, i dati mostrano una significativa diminuzione delle concentrazioni di PFOA dal 2020 al 2022. Tuttavia, nei primi tre anni e nel 2023, le concentrazioni sono rimaste mediamente più alte, con una deviazione standard rilevante, indicando una possibile contaminazione recidiva. Sebbene questa area presenti valori massimi inferiori rispetto alla rossa A, i picchi di variabilità sono più evidenti, in particolare, il comune di Vicenza registra concentrazioni molto elevate nei primi tre anni rispetto agli altri comuni, mentre nel 2023 il picco anomalo viene riscontrato nel comune di Trissino. I valori anomali sono stati rilevati a Creazzo negli anni 2018 e 2019, ma dopo quel periodo non sono stati effettuati ulteriori campionamenti.

Discussione: L'area arancione, situata geograficamente sopra l'area rossa A, è più piccola rispetto alle altre, ma comprende un numero simile di comuni, tra cui Trissino dove è ubicata la MITENI. Nelle zone collinari e montuose, i suoli sono generalmente più permeabili, costituiti da ghiaia e sabbia, che favoriscono il rapido drenaggio degli inquinanti. Al contrario, nelle aree pianeggianti, come nella città di Vicenza, i suoli sono prevalentemente argillosi o limosi, caratterizzati da una minore permeabilità. Questo favorisce il ristagno idrico, aumentando il rischio di contaminazione e prolungandone gli effetti. I dati della Tabella 6 evidenziano un peggioramento sia della media che della mediana. Ma questo purtroppo non ci può permettere di speculare attorno ai dati, alla luce del numero esiguo dei punti di campionamento. Il dato che emerge con evidenza - quanto i campioni aumentano a 6 unità (nel 2018 con 531,08 ng/l nel comune di Creazzo, 2019 con 450,25 ng/l sempre nel comune di Creazzo e nel 2023 con 667,75 ng/l nel comune di Trissino) – è l'aumento repentino sia dei valori medi che mediani.

Le elevate concentrazioni di PFOA in quest'area possono essere spiegate tenendo conto delle sue caratteristiche chimico-fisiche. Il PFOA, come già evidenziato, è altamente solubile in acqua e molto mobile, qualità che gli consentono di spostarsi facilmente attraverso i sistemi idrici, sia superficiali che sotterranei, indipendentemente dal tipo di suolo (Alam *et al.*, 2024; Evich *et al.*, 2022). Nei terreni permeabili delle zone collinari, il drenaggio rapido facilita il trasporto verticale del contaminante verso le falde. Al contrario, nelle pianure con suoli più argillosi, il PFOA tende a ristagnare e accumularsi, contribuendo alle concentrazioni elevate e persistenti, come quelle registrate nel comune di Vicenza. In sintesi, l'interazione tra le caratteristiche geologiche dell'area, la diversa permeabilità dei suoli e le proprietà intrinseche del PFOA crea condizioni che ne favoriscono sia la mobilità che la persistenza, concorrendo a spiegare i livelli elevati e la variabilità osservata.

Tabella 26 Tabella descrittiva del PFOA per l'area gialla AGA nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AGA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	8	61,19	+/-47,22	27,00	31,63	39,75	67,63	144,00	36,00
2018	10	46,70	+/-16,31	27,44	32,06	49,04	57,35	71,25	25,29
2019	15	59,68	+/-120,26	6,00	13,63	18,50	45,08	488,00	31,46
2020	22	33,15	+/-24,95	8,25	14,19	27,33	42,19	106,50	28,00
2021	20	27,55	+/-20,07	6,50	13,90	19,50	37,53	69,24	23,63
2022	21	40,90	+/-51,18	6,67	20,75	30,50	42,67	256,00	21,92
2023	22	53,81	+/-105,31	3,50	21,00	34,38	44,39	519,25	23,39

Risultati: La concentrazione di PFOA nelle acque superficiali dell'area gialla risulta generalmente bassa, con una media stabile e variazioni annuali contenute. Tuttavia, nel 2019 e nel 2023 si sono verificati picchi nella deviazione standard per una maggiore dispersione dei valori attorno al valore medio e per valori massimi particolarmente elevati (nel 2019 a Campiglia dei Berici con un picco anomalo di 488 ng/l e nel 2023 a Anguillara Veneta con 519,25 ng/l).

Discussione: Fino ad ora, i punti di campionamento effettuati sono stati limitati, mentre nell'area gialla sono stati eseguiti un numero maggiore di rilevamenti, come mostrato nella Tabella 7. Questo probabilmente perché l'area comprende un numero maggiore di comuni (45 in totale) e una superficie geografica più estesa. Di conseguenza, la popolazione coinvolta in quest'area è più ampia, rendendo necessario un piano di monitoraggio più frequente e dettagliato. Inoltre, il numero elevato di campioni è giustificato dal ruolo delle acque superficiali, che rappresentano una fonte primaria per usi agricoli

e per l'abbeverata degli animali. Per garantire un controllo adeguato, sia per la dimensione dell'area che per il suo utilizzo agroalimentare, il piano di monitoraggio prevede un numero maggiore di punti di campionamento.

In generale, l'elemento saliente emergente, che desta preoccupazione, è che in anni recenti la concentrazione sia media che mediana del PFOA nelle acque superficiali dell'area gialla supera di quasi il doppio le concentrazioni nell'area rossa B dove il fenomeno è nello stesso arco temporale rientrato. Ad ogni modo l'area presenta livelli di contaminazione meno critici rispetto alle aree rossa A e arancione che sono però anche direttamente impattate dal fenomeno.

Tabella 27 Tabella descrittiva del PFOA per l'area verde AVA nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AVA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	6	35,79	+/-18,17	19,00	22,50	32,00	42,06	67,00	19,56
2018	6	26,79	+/-10,47	16,75	19,45	24,27	30,50	45,00	11,05
2019	9	20,29	+/-11,95	11,00	13,25	15,75	16,67	41,83	3,42
2020	9	18,33	+/-6,74	12,73	14,50	15,67	18,33	33,25	3,83
2021	9	14,72	+/-6,07	10,00	11,00	12,33	14,75	28,74	3,75
2022	8	18,02	+/-8,63	10,00	12,47	14,94	20,25	35,37	7,78
2023	8	32,12	+/-20,63	14,80	16,68	22,61	44,79	72,38	28,11

Risultato: L'area verde (Tabella 8), identificata come zona di approfondimento per la presenza di PFAS nelle matrici ambientali e che necessita di ulteriori studi, presenta concentrazioni di PFOA tra le più basse rispetto alle altre aree. I valori sono generalmente uniformi, con una bassa deviazione standard nella maggior parte degli anni. Tuttavia, nel 2017 e nel 2023 si registra un aumento significativo sia nella media che nella deviazione standard. La maggior parte dei comuni appartenenti a quest'area si trova nella provincia di Padova. Questo dato potrebbe indicare un lieve peggioramento della qualità dell'acqua in una zona fino a quel momento considerata meno impattata.

Discussione: Evidentemente l'area verde è un'area di particolare attenzione per osservare come si muove l'inquinamento da PFOA nelle acque superficiali a valle delle aree maggiormente impattate. I valori medi e mediani attestano in questa area una buona performance. Ad ogni modo, il numero limitato di punti di campionamento, soprattutto in considerazione di una superficie così vasta, dovrebbe però richiedere cautela nel proporre considerazioni generali.

Tabella 28 Tabella descrittiva del PFOA per l'area di controllo nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

CONTR (ng/l)	Numero di campioni	Medi a	Deviazione standard	Minim o	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	9	12,86	+/-12,00	6,00	6,00	7,50	13,00	43,25	7,00
2018	12	13,18	+/-12,36	5,50	6,25	7,50	14,81	49,55	8,56
2019	18	10,50	+/-8,78	5,00	5,53	6,92	10,81	38,25	5,29
2020	23	12,18	+/-11,95	5,00	6,54	7,50	11,00	48,50	4,46
2021	16	9,25	+/- 7,12	5,00	5,88	6,25	8,75	32,43	2,88
2022	26	9,82	+/- 6,99	5,00	6,22	7,94	10,35	40,33	4,13
2023	39	7,62	+/-10,97	2,00	3,00	3,50	6,93	57,50	3,93

L'area di controllo comprende tutti i punti di campionamento effettuati da ARPAV nei comuni che non rientrano nelle aree interessate dalla contaminazione. Questa zona funge da base controfattuale per valutare l'effettiva diffusione dell'inquinamento da PFOA che non sia legato all'inquinamento legato all'impresa MITENI. Come previsto, le concentrazioni di PFOA risultano piuttosto basse e poco variabili nel tempo, e nel complesso, l'area presenta livelli di contaminazione significativamente inferiori rispetto alle altre, confermandosi un utile riferimento per confrontare l'impatto nelle aree maggiormente interessate.

PFOS:

Tabella 29 Tabella descrittiva del PFOS per l'area rossa ARA nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

ARA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	5	54,23	+/-78,03	5,00	16,00	25,00	32,53	192,60	16,53
2018	7	22,68	+/-17,02	5,36	14,59	20,49	22,92	57,88	8,32
2019	7	27,58	+/-25,00	4,85	15,36	19,60	28,85	80,20	13,49
2020	8	14,46	+/-10,29	4,30	7,63	10,96	18,33	32,90	10,70

2021	8	19,77	+/-22,69	2,88	7,89	11,53	20,88	73,41	13,00
2022	8	25,86	+/-41,91	1,83	4,86	12,42	19,13	127,67	14,27
2023	9	14,07	+/-11,61	2,80	7,15	10,37	13,86	41,29	6,71

Risultato: Nell'area rossa A, Tabella 10, le concentrazioni di PFOS mostrano oscillazioni significative e una tendenza generale alla diminuzione della media, passando da 54,23 ng/l nel 2017 a valori inferiori nei successivi. L'alta deviazione standard del 2017 indica una grande variabilità nei valori, con picchi di concentrazione molto elevati rispetto alla mediana e un valore massimo di 192,60 ng/l. Nel 2022, c'è una nuova anomalia con una deviazione standard alta e un massimo di 127,67 ng/l, evidenziando un caso isolato di contaminazione. La tendenza, quindi, è di una progressiva riduzione dei valori medi, ma con episodi anomali non trascurabili verificatosi specificatamente in entrambi gli anni nel comune di Lonigo.

Discussione: *[attenzione siamo in acque superficiali]* Come già sottolineato per il PFOA, le caratteristiche geologiche di questa area sono fondamentali per interpretare i valori riscontrati del contaminante PFOS. Il terreno, abbastanza permeabile e composto principalmente da sabbia, ghiaia e limo, non trattiene efficacemente il PFOS, che tende a non adsorbirsi. Nonostante il fatto che questa sostanza ha una maggiore affinità per le particelle del suolo, in terreni permeabili, la scarsità di particelle fini e materia organica riduce ulteriormente la possibilità di ritenzione a lungo termine, facilitando il movimento del PFOS verso le falde e le acque superficiali, pur essendo meno solubile e mobile (Alam *et al.*, 2024; Evich *et al.*, 2022).

Tabella 30 Tabella descrittiva del PFOS per l'area rossa ARB nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

ARB (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	0	-	-	-	-	-	-	-	-
2018	3	11,29	+/-12,12	1,97	4,44	6,92	15,96	25,00	11,52
2019	4	1,80	+/-1,21	1,04	1,08	1,29	2,00	3,60	0,92
2020	4	2,12	+/-1,08	0,98	1,40	2,06	2,78	3,40	1,38
2021	4	2,16	+/-1,22	1,26	1,29	1,76	2,58	3,86	1,29
2022	5	2,08	+/-1,20	1,12	1,28	1,77	2,11	4,11	0,83
2023	6	2,00	+/-0,96	0,93	1,31	1,88	2,46	3,52	1,15

Risultato: In Tabella 11 vengono rappresentati gli indici descrittivi per l'area rossa B. I valori di PFOS sono molto bassi, con medie e deviazioni standard simili, evidenziando concentrazioni più uniformi e costanti. Anche i valori di minimo e di massimo tendono negli anni a diminuire.

Discussione: Questo andamento suggerisce un'area con esposizione molto minore alla contaminazione da PFOS rispetto alle altre aree impattate, che parimenti tende a migliorare la propria performance nel corso del tempo (Alam *et al.*, 2024; Evich *et al.*, 2022)

Tabella 31 Tabella descrittiva del PFOS per l'area arancione AAR nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AAR (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	3	78,42	+/-58,38	11,00	61,50	112,00	112,13	112,25	50,63
2018	6	45,46	+/-52,14	2,60	4,21	33,31	64,18	134,58	59,97
2019	5	38,13	+/-49,94	0,90	5,46	17,14	45,15	122,00	39,69
2020	4	8,81	+/-8,50	1,37	1,63	8,08	15,26	17,71	13,63
2021	4	9,05	+/-9,09	1,01	1,26	9,00	16,78	17,18	15,52
2022	4	12,36	+/-12,24	1,52	1,95	11,76	22,16	24,38	20,21
2023	6	11,78	+/-5,92	1,48	9,83	13,77	14,65	18,19	4,82

Risultato: Nell'area arancione, Tabella 12, si osserva un andamento decrescente delle concentrazioni di PFOS, partendo da una media alta nel 2017 con una notevole riduzione negli anni successivi, fino a valori stabili dal 2020 in poi. Tuttavia, l'alta deviazione standard nel 2017 e 2018 indica una variabilità significativa, con alcuni campioni che mostrano valori eccezionalmente elevati nei massimi. Anche negli anni seguenti, la variabilità rimane piuttosto marcata, segnalando un'area con occasionali picchi di contaminazione.

Discussione: Come già descritto, l'area arancione comprende sia zone collinari e montuose, caratterizzate da terreni sabbiosi e permeabili, sia zone pianeggianti, come la città di Vicenza, dove i suoli sono prevalentemente argillosi o limosi e meno permeabili. Queste caratteristiche influenzano il comportamento del PFOS, che grazie alla sua elevata affinità per le particelle del suolo, tende ad adsorbirsi maggiormente in terreni argillosi e ricchi di materia organica, come quelli presenti a Vicenza. Questo fenomeno favorisce il ristagno e l'accumulo del contaminante, contribuendo a concentrazioni più elevate e persistenti nelle acque superficiali di queste aree. Al contrario, nelle zone

collinari con terreni sabbiosi e più permeabili, l'adsorbimento è limitato, e il contaminante può muoversi più rapidamente verso le falde acquifere, diminuendo la probabilità di accumulo locale.

I picchi di contaminazione registrati nei primi anni (2017-2018) e la variabilità osservata negli anni successivi potrebbero essere spiegati non solo dalla persistenza del PFOS nei suoli argillosi e nei sedimenti, ma anche da fluttuazioni nelle fonti di contaminazione o da eventi climatici e agricoli che alterano il suolo o i flussi idrici.

Tabella 32 Tabella descrittiva del PFOS per l'area gialla AGA nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AGA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	5	15,10	+/-10,03	5,00	5,50	15,00	22,50	27,50	17,00
2018	11	6,62	+/-5,06	0,40	4,49	5,18	7,42	16,00	2,93
2019	15	4,65	+/-3,61	0,24	2,18	3,65	5,84	13,76	3,66
2020	22	3,85	+/-3,37	0,49	2,12	2,85	3,74	13,41	1,63
2021	23	2,76	+/-1,68	0,22	1,57	2,75	3,29	7,45	1,72
2022	21	4,04	+/-2,87	0,87	2,16	3,44	4,92	13,77	2,76
2023	23	2,85	+/-2,06	0,32	1,43	2,53	3,85	9,34	2,42

Risultato: La Tabella 13 conferma che, analogamente al PFOA, l'area gialla è quella più campionata tra le aree monitorate, essendo geograficamente la più estesa. Le concentrazioni di PFOS, come nel caso del PFOA, risultano basse e stabili nel tempo, con l'eccezione del 2017, anno in cui si registra una media e una deviazione standard leggermente più elevate.

Discussione: Questo risultato potrebbe essere attribuito al numero inferiore di campioni raccolti e ai valori minimo e massimo più alti rispetto agli anni successivi. Nel complesso, l'area si distingue per un livello di contaminazione da PFOS basso e stabile.

Tabella 33 Tabella descrittiva del PFOS per l'area verde AVA nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AVA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	2	11,75	+/-8,13	6,00	8,88	11,75	14,63	17,50	5,75
2018	7	5,94	+/-2,44	2,81	4,55	4,92	7,41	9,90	2,86
2019	9	4,87	+/-2,80	1,62	3,62	4,05	5,38	11,60	1,76

2020	10	4,21	+/-2,18	1,77	2,95	3,05	5,28	7,91	2,33
2021	10	3,43	+/-0,94	2,22	3,64	4,30	4,87	5,27	1,23
2022	9	3,68	+/-1,34	2,14	2,65	3,12	3,75	6,48	1,10
2023	9	6,79	+/-1,26	2,11	2,66	3,66	4,10	6,21	1,44

Risultato: La Tabella 14, relativa all'area verde, mostra un numero di campioni leggermente superiore rispetto a quelli raccolti nelle aree rossa e arancione. Le concentrazioni di PFOS risultano tra le più basse osservate, seguendo una tendenza simile a quella dell'area gialla. Tuttavia, nel 2023 si registra un lieve aumento, non particolarmente marcato ma sufficiente a compromettere la stabilità dei valori precedentemente riscontrati. La mediana invece attenta una tendenza alla riduzione.

Discussione: Rispetto a quanto riscontrato con il PFOA, il PFOS attesta andamenti più contenuti e in progressiva remissione, nonostante il media di trasporto sia lo stesso

Tabella 34 Tabella descrittiva del PFOS per l'area di controllo nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

CONTR. (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	1	5,00	-	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	0,00
2018	23	2,60	+/-3,11	0,29	0,99	1,90	2,81	15,66	1,83
2019	53	1,61	+/-1,65	0,17	0,52	1,27	1,90	7,40	1,39
2020	50	2,06	+/-3,04	0,22	0,73	1,37	2,08	18,50	1,35
2021	56	1,68	+/-2,02	0,19	0,69	1,21	1,99	13,72	1,30
2022	70	2,18	+/-4,79	0,21	0,76	1,36	2,42	39,83	1,66
2023	86	3,32	+/-14,66	0,19	0,57	1,34	2,12	136,25	1,55

Risultato: L'ultima tabella (Tabella 15) rappresenta l'area di controllo, ovvero il controfattuale, che include i comuni esclusi dalle aree di impatto identificate dalla Regione del Veneto. Pur essendo la zona con il maggior numero di campioni raccolti, le concentrazioni di PFOS si mantengono estremamente basse. Nel 2023 si registra un leggero aumento della media e della deviazione standard, attribuibile a un valore massimo isolato di 136,25 ng/l rilevato nel comune di Vestenanova, segnalando un episodio anomalo di contaminazione non rappresentativo per quest'area. Al di fuori di questo picco, i valori rimangono bassi e stabili, confermando l'area come un valido riferimento per valutare il grado di contaminazione nelle altre zone.

Discussione: L'area di controllo evidenzia quella che è la tendenza di fondo in merito alla presenza di questa sostanza nelle acque superficiali del Veneto. La sostanza è usata da molti settori produttivi che la utilizzano nei loro processi di produzione, così come da consumatori che, utilizzando beni di consumo contenenti la stessa, possono diffonderla involontariamente nell'ambiente. Il controfattuale quindi ci permette - mediante uno strumento speditivo - anche di capire la quota che mediamente dovrebbe essere decurtata anno dopo anno dall'inquinamento nelle zone di impatto, per comprendere quanto è stato il contributo della MITENI all'inquinamento da PFAS, a cui si dovrebbe aggiungere anche il distretto della conca che vede nell'ovest Vicentino la sua massima concentrazione regionale.

- **Acque sotterranee**

PFOA:

Tabella 35 Tabella descrittiva del PFOA per l'area rossa ARA nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

ARA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	11	869,09	+/- 1.129,03	31,00	141,3 1	376,00	1.073,7 4	3.175,21	932,43
2018	9	1.267,04	+/- 1.618,54	45,00	255,5 0	570,58	1.448,0 0	4.683,89	1.192,50
2019	9	1.238,10	+/- 1.596,41	49,00	201,2 0	573,83	1.578,6 2	4.858,67	1.377,42
2020	9	1.520,42	+/- 2.089,46	39,50	200,7 3	542,50	1.662,0 2	6.102,24	1.461,28
2021	9	1.552,29	+/- 2.101,35	42,00	167,2 5	632,17	1.632,0 1	6.088,16	1.464,76
2022	9	1.449,11	+/- 1.952,42	36,50	168,2 5	558,25	1.582,1 8	5.619,25	1.413,93
2023	10	1.457,10	+/- 2.523,82	44,50	184,5 2	452,40	1.326,8 9	8.217,97	1.142,37

Risultato: L'Area rossa A (ARA), come evidenziato dalla Tabella 16, presenta concentrazioni estremamente elevate di PFOA nelle acque sotterranee, con medie annuali che spesso superano i 1000 ng/l e picchi massimi fino a 8217,97 ng/l nel 2023, registrati nel comune di Cologna Veneta. Va osservato che in quella data la MITENI aveva già cessato la propria attività di produzione a seguito della dichiarazione di fallimento del 2018, pertanto i valori registrati sono necessariamente l'accumulo di inquinanti realizzato nel tempo. La marcata variabilità osservata, sottolineata dalle alte

deviazioni standard, che palesano dati molto sparsi rispetto al loro valore medio, indica l'influenza di fonti di contaminazione dirette, come scarichi industriali, a cui hanno anche contribuito scarichi urbani. Nel corso degli anni, non si rilevano picchi anomali significativi e i valori si mantengono costantemente elevati, riflettendo una contaminazione stabile ma sicuramente molto molto critica e che non accenna a rientrare

Discussione: La mobilità del PFOA nelle acque sotterranee è accentuata dalla composizione geologica dell'area, caratterizzata da terreni altamente permeabili composti da sabbia, ghiaia e limo. Questa configurazione, unita alla bassa affinità del contaminante per le particelle argillose, facilita il trasporto verticale verso le falde. L'elevata solubilità in acqua e la persistenza chimica del PFOA ne favoriscono la diffusione su vasta scala, spiegando le alte concentrazioni rilevate. Le acque sotterranee sono inoltre un importante indicatore di contaminazione storica rispetto ai valori che si registrano nelle acque superficiali. Se la concentrazione nelle stesse registrate è superiore a quelle superficiali significa che la contaminazione è presente da decenni e che, nonostante l'azione di filtraggio comunque realizzata dal suolo, si è accumulata in falda che in questo caso fa da sink per il contaminante.

Tabella 36 Tabella descrittiva del PFOA per l'area rossa ARB nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

ARB (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazion e standard	Minim o	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	3	225,21	+/-215,25	14,82	115,31	215,80	330,40	445,00	215,09
2018	2	121,87	+/-132,18	28,40	75,13	121,87	168,60	215,33	93,47
2019	2	101,82	+/-110,32	23,81	62,82	101,82	140,83	179,83	78,01
2020	2	189,64	+/-1,17	188,82	189,23	189,64	190,06	190,47	0,83
2021	2	83,81	+/-69,10	34,95	59,38	83,81	108,24	132,67	48,86
2022	2	72,46	+/-71,59	21,84	47,15	72,46	97,77	123,08	50,62
2023	2	118,87	+/-27,57	99,37	109,12	118,87	128,62	138,36	19,50

Risultato: L'Area rossa B (ARB), come riportato nella Tabella 17, presenta concentrazioni di PFOA significativamente inferiori rispetto all'ARA. Le medie annuali oscillano tra circa 72,46 ng/l (2022) e 225,21 ng/l (2017), con un trend generale che mostra valori in calo negli anni. Tuttavia, la ridotta disponibilità di dati rende difficile identificare con precisione eventuali variazioni significative. Le deviazioni standard sono generalmente elevate nella prima parte del periodo oggetto di analisi, per

poi avviarsi verso un processo di concentrazione e quindi di raggruppamento dei dati attorno al valore medio.

Discussione: i dati suggeriscono che la contaminazione da PFOA, pur se più contenuta, non è uniforme tra i punti di campionamento (molto pochi). Questo potrebbe indicare una maggiore distanza dalle principali fonti di contaminazione, con una minore influenza di scarichi industriali diretti, e l'eventuale efficacia dei trattamenti di depurazione implementati, come l'uso di filtri per ridurre i livelli di PFAS nell'acqua distribuita. Anche in questo caso però avere solo due punti di campionamento non aiuta nella fase di interpretazione del dato.

Tabella 37 Tabella descrittiva del PFOA per l'area arancione AAR nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AAR (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	9	1.012,33	+/- 1.144,11	25,00	176,71	704,93	1.234,40	3.022,15	1.057,69
2018	9	804,49	+/- 822,07	63,36	134,09	448,78	1.210,36	2.417,33	1.076,27
2019	9	837,86	+/- 895,02	85,27	113,50	261,63	1.204,50	2.538,57	1.091,00
2020	9	968,00	+/- 1.203,77	64,45	92,15	294,05	1.307,62	3.610,69	1.215,46
2021	9	1.001,29	+/- 1.260,54	30,42	71,31	317,33	1.443,92	3.301,00	1.372,61
2022	9	1.173,32	+/- 1.563,98	31,81	75,10	266,06	1.730,20	4.342,95	1.655,10
2023	9	1.291,06	+/- 1.537,09	47,13	131,45	259,15	2.199,75	4.314,43	2.068,30

Risultato: La Tabella 18, che riporta gli indici descrittivi per il PFOA nell'Area arancione (AAR), evidenzia un numero di campionamenti superiore rispetto all'Area rossa B e concentrazioni generalmente elevate. Le medie annuali mostrano una certa oscillazione, accompagnata da deviazioni standard significative. I valori massimi raggiungono 4.314,43 ng/l, indicando contaminazioni rilevanti e persistenti. Mentre i valori medi tendono progressivamente ad aumentare, i valori mediani

attestano invece un andamento decrescente. La deviazione standard attesta una notevole dispersione dei dati attorno al valore medio.

Discussione: La mobilità del PFOA, combinata con la composizione geologica dell'area, influenza in modo significativo la distribuzione del contaminante. Nelle zone collinari e montuose, i terreni ghiaiosi e sabbiosi favoriscono un rapido drenaggio, accelerando il trasporto verticale del PFOA verso le falde acquifere. Questo spiega le concentrazioni molto elevate registrate in comuni come Creazzo e Trissino, evidenziate dai valori massimi in tabella. Al contrario, nelle pianure con suoli argillosi o limosi, come a Vicenza, la minore permeabilità contribuisce al ristagno e all'accumulo del contaminante negli strati più superficiali. L'elevata solubilità del PFOA in acqua consente al contaminante di attraversare facilmente i sistemi idrici sotterranei, indipendentemente dalla tipologia del suolo, perpetuando il rischio di contaminazione.

Tabella 38 Tabella descrittiva del PFOA per l'area gialla AGA nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AGA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	3	133,11	+/-120,87	14,00	71,83	129,67	192,67	255,67	120,83
2018	3	150,72	+/-200,80	11,00	35,67	60,33	220,58	380,83	184,92
2019	3	172,93	+/-191,65	10,00	67,36	124,71	254,40	384,08	187,04
2020	3	173,47	+/-182,77	14,00	73,75	133,50	253,21	372,92	179,46
2021	2	292,75	+/-149,91	186,75	239,75	292,75	345,75	398,75	106,00
2022	2	237,18	+/-157,23	126,00	181,59	237,18	292,77	348,36	111,18
2023	4	209,28	+/-196,32	6,50	87,73	184,65	306,21	461,33	218,48

Risultati: L'area gialla AGA (zona di attenzione per il sistema di controllo delle reti ambientali, che monitora acque superficiali e sotterranee comprese quelle per uso irriguo e per abbeverata) presenta per le acque sotterranee un numero di campionamenti relativamente limitato rispetto alle superfici (Tabella 19). L'aumento delle concentrazioni medie dal 2017 al 2021 suggerisce che la contaminazione si è estesa o intensificata nel tempo. La leggera diminuzione nelle medie del 2022 e 2023 potrebbe indicare un inizio di stabilizzazione o miglioramento, ma è necessario un monitoraggio continuo per confermare questa tendenza. La variabilità elevata indica una distribuzione non uniforme della contaminazione, con alcune aree probabilmente più colpite di altre. L'aumento del numero di punti di campionamento nel 2023 è positivo, in quanto fornisce una visione più completa della situazione. Le concentrazioni di PFOA risultano più contenute rispetto alle aree rosse (ARA e AAR),

con valori medi compresi tra 133,11 ng/l e 292,75 ng/l (Tabella 19). Si osserva una tendenza alla crescita fino al 2021, con picchi occasionali tra i valori minimi e massimi, che suggeriscono la possibilità di contaminazioni puntuali.

Discussione: Nonostante i livelli più bassi rispetto alle altre aree, il rischio a lungo termine non è trascurabile, poiché la persistenza e la mobilità del PFOA nelle falde possono causare un accumulo graduale, richiedendo una valutazione attenta nelle aree più sensibili. La situazione nella zona gialla, sebbene meno critica rispetto alla zona rossa A, richiede comunque un'attenzione continua e azioni mirate per prevenire un ulteriore peggioramento e promuovere il miglioramento della qualità delle acque sotterranee.

Tabella 39 Tabella descrittiva del PFOA per l'area verde AVA nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AVA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	1	18,50	-	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50	0,00
2018	1	7,75	-	7,75	7,75	7,75	7,75	7,75	0,00
2019	2	91,50	+/-122,33	5,00	5,00	91,50	134,75	178,00	129,75
2020	3	78,92	+/-106,19	6,00	6,00	30,00	115,38	200,75	109,38
2021	1	155,00	-	155,00	155,00	155,00	155,00	155,00	0,00
2022	3	72,33	+/-68,83	14,00	14,00	54,75	101,50	148,25	87,50
2023	2	99,88	+/-117,20	17,00	17,00	99,88	141,31	182,75	124,31

Risultato: L'area verde AVA mostra pochi punti di campionamento e concentrazioni di PFOA molto basse con medie annuali spesso sotto i 100 ng/l (Tabella 20). Tuttavia, nel 2021 e nel 2023 sono stati registrati valori medi rispettivamente di 155,00 ng/l e 99,88 ng/l, suggerendo picchi anomali isolati.

Discussione: La limitatezza del numero dei punti di campionamento non permette di proporre delle riflessioni sulle evidenze numeriche.

Tabella 40 Tabella descrittiva del PFOA per l'area di controllo nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

CONTR (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	28	45,45	+/-74,71	5,00	10,25	20,83	41,25	377,00	31,00
2018	42	42,69	+/-59,04	5,00	8,56	15,00	37,33	202,22	28,77

2019	42	46,01	+/-56,73	5,00	8,18	17,20	51,58	207,00	43,41
2020	38	55,10	+/-120,15	5,00	10,45	16,00	30,75	690,94	20,30
2021	39	59,10	+/-113,92	5,00	9,58	18,77	52,55	644,38	42,97
2022	38	41,14	+/-52,79	5,00	8,13	15,48	48,00	183,00	39,88
2023	63	23,72	+/-46,29	2,00	4,00	7,45	20,50	309,00	16,50

Risultato: Per la Zona di Controllo, il numero di punti di campionamento è comprensibilmente elevato, poiché include i comuni non facenti parte delle aree di impatto. Le concentrazioni di PFOA sono significativamente più basse rispetto a quelle rilevate nelle altre aree e rimangono costanti nel tempo, con valori medi generalmente inferiori ai 60 ng/l.

Discussione: L' area funge da riferimento per quella che è la tendenza di fondo nel Veneto, confermando che la contaminazione nelle aree impattate è correlata principalmente alle attività di produzione di sostanze perfluoroalchiliche più che ad altre produzioni industriali che utilizzano PFAS che, ad ogni modo, sono distribuite in tutta la regione

PFOS:

Tabella 41 Tabella descrittiva del PFOS per l'area rossa ARA nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

ARA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	7	27,80	+/-22,85	5,00	9,67	20,38	42,61	64,67	32,94
2018	6	27,83	+/-17,26	6,00	15,44	26,80	41,45	49,40	26,01
2019	7	28,00	+/-18,05	10,00	14,06	22,56	39,25	56,83	25,19
2020	7	28,26	+/-18,88	6,00	13,33	22,89	44,57	53,10	31,25
2021	7	29,11	+/-22,57	5,00	10,52	28,56	43,71	61,76	33,19
2022	7	32,82	+/-28,68	5,75	10,64	24,84	46,60	84,66	35,95
2023	6	30,75	+/-21,93	5,50	14,02	30,89	41,59	63,67	27,57

Risultato: Le concentrazioni di PFOS nell'area rossa ARA nelle acque sotterranee sono relativamente stabili, con una media che oscilla tra 27,80 e 32,82 ng/l e deviazioni standard costanti nel tempo, simili ai valori della media (Tabella 22).

Discussione: Questi valori riflettono un accumulo moderato nelle falde acquifere, influenzato dai terreni sabbiosi e limo-gliaiosi che caratterizzano l'area. Sebbene questi terreni siano permeabili e

permettano la migrazione verticale del contaminante, la presenza di limo può rallentare il flusso e trattenere il PFOS per periodi più lunghi, accumulando quindi il contaminante nelle zone di maggiore permeabilità e limitando la dispersione.

Tabella 42 Tabella descrittiva del PFOS per l'area rossa ARB nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

ARB (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2018	1	6,50	-	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	0,00
2019	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2020	1	7,00	-	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	0,00
2021	1	6,00	-	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	0,00
2022	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2023	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Risultati: Come si evince dalla Tabella 23, i punti di campionamento per il PFOS nelle acque sotterranee nell'area rossa B (ARB) sono molto limitati, rendendo scarsa la valutazione della situazione.

Discussione: I dati disponibili mostrano un impatto irrilevante, come evidenziato dalle concentrazioni medie rilevate. Il campionamento suggerisce che il PFOS non abbia una mobilità significativa in questa zona, e che i suoli locali favoriscano l'adsorbimento del contaminante negli strati superficiali, limitando così il suo passaggio nelle falde più profonde.

Tabella 43 Tabella descrittiva del PFOS per l'area arancione nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AAR (ng/l)	Conteggio	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	8	137,53	+/-114,74	34,83	37,42	115,38	211,15	335,25	173,74
2018	8	132,99	+/-91,62	46,25	59,34	100,16	199,45	275,00	140,10
2019	8	136,14	+/-108,07	36,33	53,70	74,97	253,43	282,36	199,73
2020	8	134,60	+/-97,57	39,08	71,79	84,46	214,35	307,19	142,56
2021	8	124,33	+/-91,45	47,63	71,03	92,67	133,71	326,00	62,68
2022	8	133,28	+/-143,92	24,40	62,49	70,02	135,99	449,67	73,50
2023	8	158,59	+/-178,81	25,50	53,86	63,18	204,50	537,72	150,64

Risultati: L'area arancione (AAR), come illustrato nella Tabella 24, registra i livelli di PFOS più alti tra le aree analizzate, con una media di 158,59 ng/l nel 2023 e una grande variabilità nella distribuzione dei dati attorno al valore medio, riflessa da deviazioni standard elevate (fino a 178,81 ng/l).

Discussione: Questi valori evidenziano un sistema estremamente vulnerabile alla contaminazione. I terreni, prevalentemente sabbiosi e con scarsa capacità di adsorbimento, facilitano la rapida infiltrazione del PFOS verso le falde. La mancanza di materia organica o particelle fini riduce ulteriormente la possibilità di trattenere il contaminante, favorendone l'accumulo nelle zone di ristagno più profonde.

Tabella 44 Tabella descrittiva del PFOS per l'area gialla AGA nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AGA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	1	17,00	-	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	0,00
2018	3	15,44	+/-9,14	10,00	10,17	10,33	18,17	26,00	8,00
2019	1	23,00	-	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	0,00
2020	2	24,18	+/-23,36	7,67	15,93	24,18	32,44	40,70	16,52
2021	1	40,16	-	40,16	40,16	40,16	40,16	40,16	0,00
2022	2	10,75	+/-8,13	5,00	7,88	10,75	13,63	16,50	5,75
2023	3	3,78	+/-1,35	3,00	3,00	3,00	4,17	5,33	1,17

Risultati: L'area gialla (AGA) mostra, per il PFOS nelle acque sotterranee, un numero di campionamenti relativamente limitato rispetto alle acque superficiali (Tabella 25).

Discussione: Le concentrazioni di PFOS nell'area gialla sono generalmente moderate, con valori medi che diminuiscono negli ultimi anni, andamento che suggerisce una riduzione progressiva del carico contaminante o una dispersione localizzata più limitata. Tuttavia, si osservano picchi occasionali, come nel 2021, quando un singolo campione ha registrato un valore anomalo di 40,16 ng/l (comune di Pernumia).

Il terreno prevalentemente argilloso dell'area limita la mobilità del PFOS verso le falde profonde, favorendone l'adsorbimento negli strati superficiali e riducendo la contaminazione sotterranea.

Tuttavia, la persistenza del contaminante e la presenza di zone più permeabili potrebbero favorire un accumulo graduale in aree sensibili.

Pertanto, nonostante le concentrazioni relativamente basse, l'estensione dell'area e il numero potenzialmente elevato di utenti che potrebbero utilizzare queste risorse in emergenza richiedono un monitoraggio continuo e approfondito.

Tabella 45 Tabella descrittiva del PFOS per l'area verde AVA nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AVA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	0	-	-	-	-	-	-	-	-
2018	1	6,00	-	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	0,00
2019	1	241,00	-	241,00	241,00	241,00	241,00	241,00	0,00
2020	2	29,50	+/-26,16	11,00	20,25	29,50	38,75	48,00	18,50
2021	0	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	2	322,88	+/-367,87	62,75	192,81	322,88	452,94	583,00	260,13
2023	1	331,67	-	331,67	331,67	331,67	331,67	331,67	0,00

Risultati: L'area verde (AVA) evidenzia una distribuzione anomala dei dati, con picchi estremi fino a 583,00 ng/l nel 2022 (Tabella 26), concentrati esclusivamente nel comune di Abano Terme. Questa anomalia suggerisce episodi isolati di contaminazione molto elevata, probabilmente legati a fonti specifiche o a rilasci acuti piuttosto che a una diffusione uniforme nell'area.

Discussione: Il comune di Abano Terme, parte del Bacino Idrotermale Euganeo, è caratterizzato da un sottosuolo stratificato, in cui si alternano terreni sabbiosi e limo-sabbiosi, altamente permeabili, a strati argillosi che fungono da barriere naturali. Questo modello multistrato influisce direttamente sul comportamento del PFOS, che migra verticalmente verso le falde negli strati sabbiosi, mentre tende a ristagnare negli strati argillosi a lungo. In aggiunta, il comune è stato interessato da fenomeni di subsidenza dovuti allo sfruttamento intensivo delle risorse termali. Questo processo ha alterato la struttura del terreno, creando potenziali sacche di ristagno per sostanze contaminanti, inclusi i PFOS, e aumentando la probabilità di accumuli significativi in specifici punti della falda¹¹⁰.

¹¹⁰ Relazione Geologica PAT di Abano Terme (Fonte: https://www.comune.abanoterme.pd.it/wp-content/uploads/2022/01/R05_Relazione-Geologica.pdf)

Tabella 46 Tabella descrittiva del PFOS per l'area di controllo nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

CONTR · (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	20	37,90	+/-59,09	5,00	6,75	19,50	35,90	268,00	29,15
2018	23	38,33	+/-59,85	5,00	7,00	13,50	50,00	289,50	43,00
2019	20	47,14	+/-82,77	0,30	8,13	13,98	38,13	367,00	30,00
2020	24	35,84	+/-69,79	5,00	9,73	16,88	38,81	354,00	29,09
2021	27	35,93	+/-37,53	5,00	8,04	11,75	57,50	125,00	49,46
2022	25	36,03	+/-59,48	5,00	7,00	13,20	34,00	253,50	27,00
2023	38	12,54	+/-17,02	2,00	3,00	6,00	9,38	76,00	6,38

Nell'area di controllo, il numero dei campioni come già visto è elevato e le concentrazioni di PFOS sono generalmente basse, con valori medi che diminuiscono significativamente nel 2023. Questo andamento è coerente con una minore esposizione a fonti di contaminazione attiva e una maggiore capacità di diluizione nelle falde. Tuttavia, alcuni picchi anomali (ad esempio, i 289,50 ng/l a Mirano nel 2018) evidenziano eventi puntuali di contaminazione, che potrebbero essere legati a specifiche attività antropiche o a condizioni geologiche favorevoli alla migrazione del contaminante in alcuni punti.

Di seguito vengono proposti i grafici che fanno riferimento alle concentrazioni medie di PFOA e PFOS nelle aree di impatto di acque superficiali e sotterranee. Per avere un quadro visivo dell'andamento negli anni delle concentrazioni delle sostanze, tramite curve che seguono in ogni caso le descrizioni precedentemente effettuate per ciascuna area di impatto e per l'area di controllo; tuttavia, i grafici riportano anche il totale delle medie rilevate nella regione Veneto.

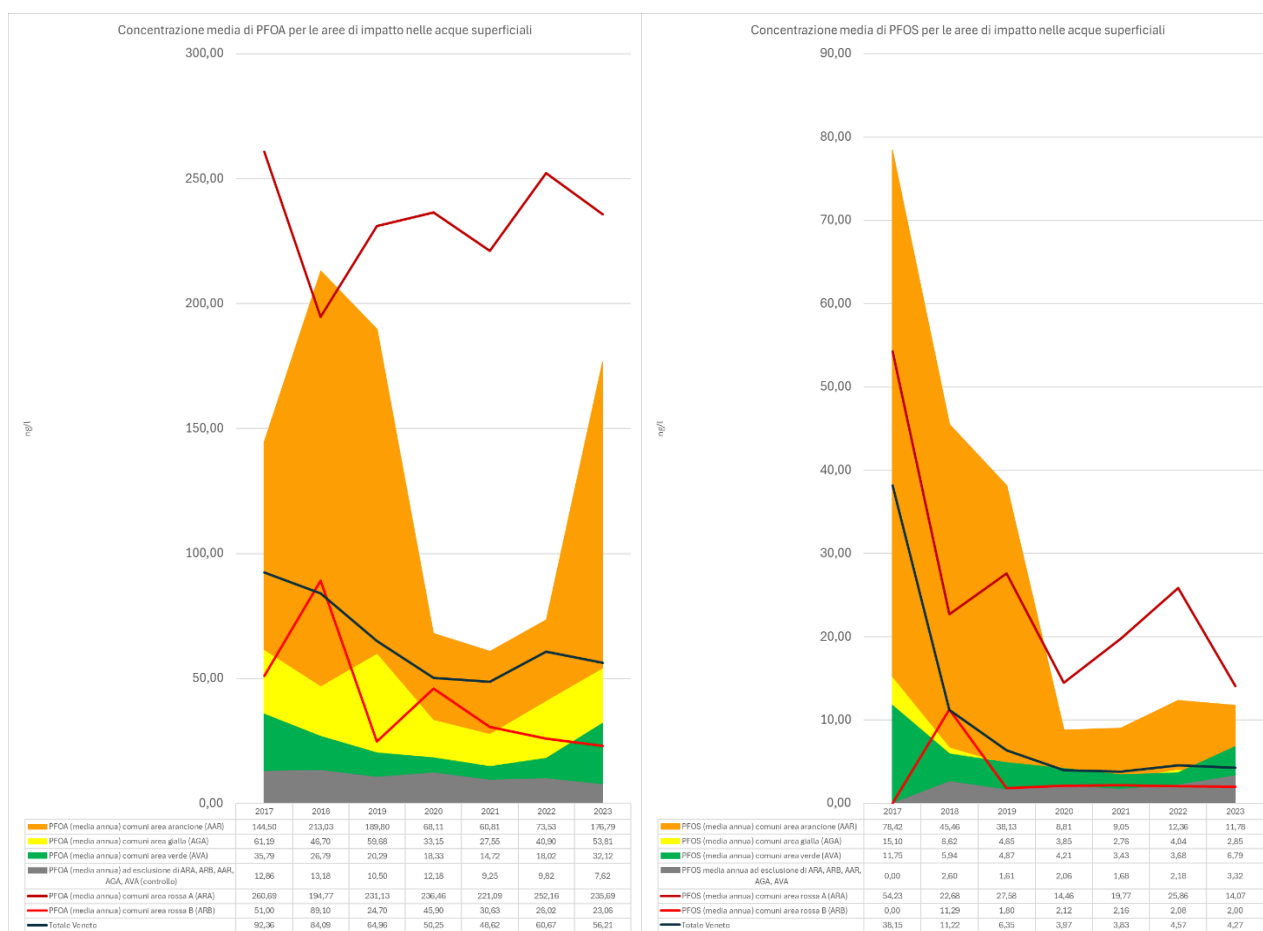


Figura 19 Grafico a linee delle concentrazioni medie delle aree di impatto per il PFOA e PFOS nelle **acque superficiali**

I grafici a linee riportati in Figura 3, relativi alle acque superficiali, illustrano l'andamento temporale delle concentrazioni medie di PFOA e PFOS nelle aree di impatto.

In entrambi i grafici emerge chiaramente che l'area rossa A (ARA) e l'area arancione (AAR) presentano i valori più elevati misurati negli anni, con picchi significativi in determinati periodi e aree specifiche. Il grafico del PFOA, accompagnato dalla tabella delle concentrazioni medie, evidenzia un andamento molto variabile, caratterizzato da aumenti e diminuzioni improvvise in alcune aree. Tali fluttuazioni suggeriscono variazioni importanti nella contaminazione da PFOA, probabilmente legate a eventi locali o cambiamenti nelle fonti di emissione.

Differente rispetto al PFOA, il grafico del PFOS mostra, sia attraverso le linee che dai dati riportati nella tabella sottostante, concentrazioni medie elevate nelle aree di impatto nei primi anni considerati.

Negli anni successivi, invece, si osserva una distribuzione più irregolare, con diminuzioni generali ma anche alcuni picchi anomali.

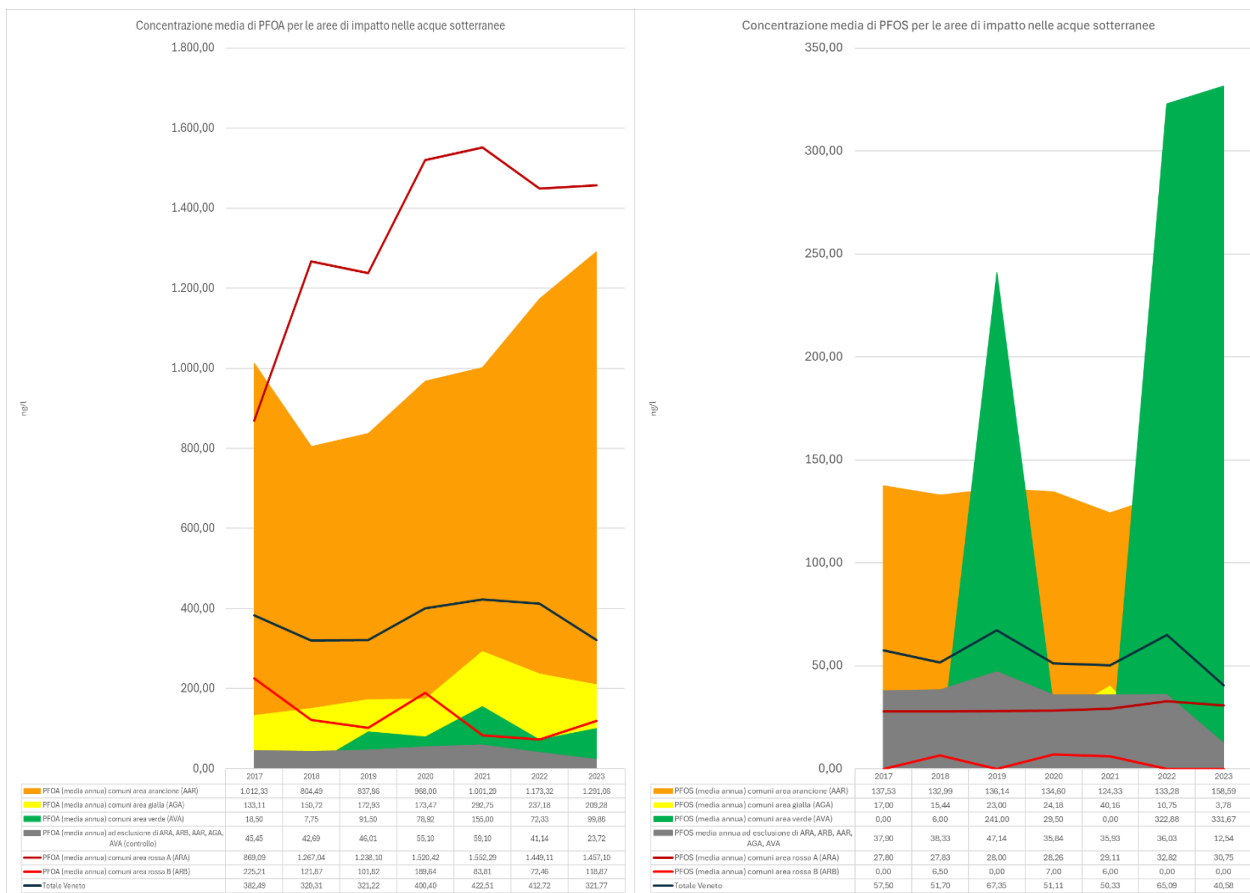


Figura 20 Grafico a linee delle concentrazioni medie delle aree di impatto per il PFOA e PFOS nelle acque sotterranee

Allo stesso modo i grafici in Figura 4 mostrano l'andamento temporale delle concentrazioni medie di PFOA e PFOS nelle acque sotterranee. Rispetto alle acque superficiali, l'andamento potrebbe evidenziare una dinamica influenzata dalla maggiore persistenza e dalla diffusione più lenta dei contaminanti nel sottosuolo.

Il grafico del PFOA mette in luce un andamento complessivamente variabile tra le diverse aree di impatto. Le concentrazioni più elevate si riscontrano nelle aree rossa (ARA) e arancione (AAR), che confermano un impatto significativo in queste zone. Tuttavia, si osservano anche fluttuazioni marcate nel tempo, con picchi improvvisi in determinati anni, che potrebbero indicare episodi di contaminazione localizzati. Le aree meno impattate e l'area di controllo, invece, presentano valori generalmente più bassi e con un andamento più stabile, caratterizzato solo da variazioni marginali nel corso degli anni.

Il grafico del PFOS evidenzia un andamento differente rispetto a quello del PFOA, con concentrazioni medie in gran parte stabili e costanti nel tempo per la maggior parte delle aree di impatto. Tuttavia,

l'area arancione (AAR) risulta quella con i valori medi più elevati, indicando una presenza più consistente del contaminante. Alcuni picchi isolati e particolarmente alti emergono nell'area verde (AVA), un'area di approfondimento già nota per la presenza di PFAS nelle matrici ambientali. Questi picchi si concentrano in particolare negli anni 2019, 2022 e 2023 e, benché isolati rispetto all'andamento generale, suggeriscono che questa zona necessiti di ulteriori studi e monitoraggi mirati.

5.4 Presentazione delle tabelle descrittive e grafici a linee per le Aziende Unità Locali Socio-Sanitarie (AULSS)

A partire dalle concentrazioni medie rilevate nei comuni del Veneto, è stata effettuata la stessa tipologia di analisi per le Aziende Unità Locali Socio-Sanitarie (AULSS). In questa sezione verranno presentate le tabelle descrittive relative alle AULSS, comprensive di indici statistici descrittivi facenti riferimento al PFOA e PFOS nelle acque superficiali e sotterranee. Per alcune AULSS, tuttavia, non è stato possibile condurre l'analisi a causa della scarsità dei dati disponibili¹¹¹.

● Acque superficiali

PFOA:

Tabella 47 Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.3 SERENISSIMA nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N.3 SERENISSIMA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	3	18,33	+/-7,77	12,00	14,00	16,00	21,50	27,00	7,50
2018	2	31,04	+/-26,93	12,00	21,52	31,04	40,56	50,08	19,04
2019	5	15,08	+/-15,27	6,83	7,67	10,25	11,33	42,92	3,67
2020	7	16,92	+/-13,40	7,50	7,97	10,08	21,00	42,92	13,03
2021	6	13,31	+/-12,46	6,00	6,44	7,50	13,06	37,87	6,63
2022	9	16,33	+/-11,98	8,67	9,00	10,40	14,08	37,77	5,08
2023	8	18,83	+/-20,18	3,00	8,56	9,50	19,65	62,67	11,10

¹¹¹ Si ricorda che la classificazione adottata nella presente tesi in ordine alle Aziende Unità Locali Socio-Sanitarie (AULSS): AULSS N.1 DOLOMITI, N.2 MARCA TREVIGIANA, N.3 SERENISSIMA, N.4 VENETO ORIENTALE, N.5 POLESANA, N.6 EUGANEA, N.7 PEDEMONTANA, N. 8 BERICA e N.9 SCALIGERA.

Tabella 48 Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.5 POLESANA nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 5 POLESANA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Medi ana	Q3	Massi mo	IQR
2017	5	6,30	+/-0,67	6,00	6,00	6,00	6,00	7,50	0,00
2018	5	9,27	+/-5,48	6,00	6,33	7,50	7,50	19,00	1,17
2019	10	9,78	+/-10,45	5,00	5,33	5,55	6,56	38,25	1,23
2020	8	6,57	+/-0,39	6,00	6,38	6,62	6,85	7,00	0,48
2021	5	6,63	+/-2,48	5,00	5,50	5,50	6,17	11,00	0,67
2022	7	6,61	+/-0,68	6,00	6,06	6,50	6,88	7,88	0,81
2023	11	4,73	+/-1,30	3,00	3,75	4,50	5,50	5,50	1,75

Tabella 49 Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.6 EUGANEA nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 6 EUGANEA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Medi ana	Q3	Massi mo	IQR
2017	12	34,52	+/-15,10	10,00	23,50	35,25	41,56	67,00	18,06
2018	15	51,52	+/-49,50	16,75	27,22	32,25	54,61	217,00	27,38
2019	21	24,07	+/-19,23	6,00	12,25	15,75	27,50	73,25	15,25
2020	25	32,14	+/-29,88	5,00	14,00	16,43	45,92	112,00	31,92
2021	23	26,77	+/-20,96	10,00	12,13	14,75	34,92	69,24	22,80
2022	25	34,12	+/-48,71	6,50	14,60	21,75	36,25	256,00	21,65
2023	28	43,18	+/-94,96	2,00	14,10	23,31	41,50	519,25	27,40

Tabella 50 Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.8 BERICA nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 8 BERICA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Media na	Q3	Massi mo	IQR
2017	11	199,08	+/-234,75	19,00	37,88	129,50	238,00	758,67	200,13
2018	13	165,42	+/-175,71	7,50	31,67	67,92	366,00	531,08	304,33
2019	14	162,08	+/-176,99	10,00	40,71	93,33	191,93	488,00	151,22

2020	20	87,22	+/-116,11	5,00	17,25	34,63	121,88	470,50	104,63
2021	19	82,62	+/-112,06	6,25	14,95	27,29	121,08	434,58	106,13
2022	19	98,61	+/-164,24	5,50	14,88	35,37	120,25	717,25	105,38
2023	21	127,38	+/-166,73	2,75	22,67	47,93	167,70	667,75	145,03

Tabella 51 Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.9 SCALIGERA nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 9 SCALIGERA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	5	126,84	+/-120,03	13,00	33,33	92,00	196,00	299,85	162,67
2018	7	102,11	+/-124,89	5,00	7,25	55,75	175,10	289,34	167,85
2019	6	133,23	+/-148,68	8,00	21,75	71,88	226,45	364,63	204,70
2020	8	100,13	+/-111,29	5,00	28,88	47,75	141,28	303,42	112,41
2021	5	129,84	+/-115,47	13,75	35,75	99,00	227,98	272,73	192,23
2022	10	75,90	+/-116,26	5,00	5,63	12,67	91,19	317,77	85,56
2023	21	46,13	+/-90,58	2,00	3,00	4,80	28,00	303,84	25,00

Per quanto riguarda le acque superficiali, le tabelle 28-32 rappresentano le concentrazioni di PFOA, e mostrano differenze significative tra le diverse AULSS, con alcune aree caratterizzate da valori medi molto elevati e altre con concentrazioni trascurabili.

Le AULSS N.8 (BERICA) e N.9 (SCALIGERA) si distinguono per le concentrazioni più alte, con valori massimi che in alcuni anni raggiungono picchi notevoli, come 758,67 ng/l nella Berica nel 2017 e 364,63 ng/l nella Scaligera nel 2019. In entrambe le AULSS, le elevate deviazioni standard indicano una grande variabilità dei dati, evidenziando la presenza di picchi di concentrazione molto alti rispetto alla mediana. La AULSS N.6, ovvero la EUGANEA, presenta invece una situazione meno stabile. Infatti, a differenza delle AULSS N.8 e N.9, qui i valori sono generalmente più contenuti, ma le concentrazioni medie e le deviazioni standard aumentano in alcuni anni a causa di picchi anomali estremi. Al contrario, le AULSS N.5 (POLESANA) e N.3 (SERENISSIMA) presentano concentrazioni molto più basse e stabili nel tempo, con valori medi generalmente contenuti. Questo evidenzia un impatto ambientale non uniforme, con alcune AULSS significativamente più esposte

alla contaminazione da PFOA rispetto ad altre, probabilmente a causa della vicinanza a fonti di inquinamento o di differenze nelle caratteristiche ambientali delle zone.

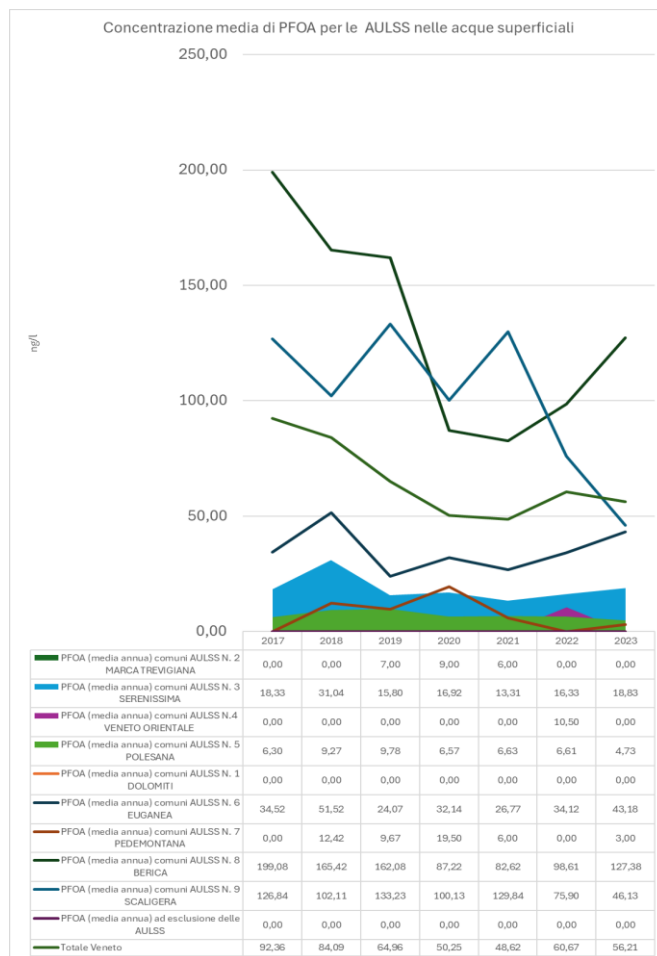


Figura 21 Grafico a linee delle concentrazioni medie delle AULSS per il PFOA nelle acque superficiali

PFOS:

Tabella 52 Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.2 MARCA TREVIGIANA nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Massimo	IQR
2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2018	5	0,94	+/-0,63	0,29	0,57	0,62	1,42	1,79	0,85
2019	7	1,19	+/-0,81	0,37	0,62	1,16	1,41	2,77	0,79
2020	9	0,88	+/-0,38	0,28	0,70	0,90	1,11	1,38	0,41
2021	10	0,89	+/-0,46	0,27	0,49	0,93	1,29	1,50	0,80

2022	12	0,84	+/-0,54	0,21	0,49	0,74	1,03	1,94	0,55
2023	12	0,76	+/-0,49	0,19	0,37	0,69	1,14	1,77	0,77

Tabella 53 Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.3 SERENISSIMA nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 3 SERENISSIMA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Mini mo	Q1	Media na	Q3	Massi mo	IQR
2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2018	4	2,43	+/-1,83	0,95	1,10	1,93	3,26	4,91	2,16
2019	6	2,22	+/-1,38	0,50	1,08	2,35	2,35	3,65	2,34
2020	8	1,62	+/-0,75	0,32	1,29	1,71	1,71	2,78	0,67
2021	8	1,63	+/-0,79	0,53	1,26	1,60	1,60	2,90	0,77
2022	10	2,09	+/-0,93	0,48	1,82	2,06	2,06	3,41	0,69
2023	9	2,01	+/-0,76	0,89	1,42	1,86	1,86	3,12	1,11

Tabella 54 Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.4 VENETO ORIENTALE nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 4 VENETO ORIENTALE (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Mini mo	Q1	Media na	Q3	Massi mo	IQR
2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2018	3	1,48	+/-1,12	0,67	0,84	1,02	1,89	2,76	1,05
2019	5	0,70	+/-0,71	0,17	0,30	0,34	0,77	1,90	0,47
2020	5	0,58	+/-0,39	0,22	0,32	0,57	0,58	1,23	0,26
2021	6	0,69	+/-0,47	0,23	0,30	0,62	0,94	1,42	0,64
2022	6	0,84	+/-0,57	0,21	0,40	0,88	1,04	1,76	0,64
2023	7	0,84	+/-0,74	0,19	0,32	0,53	1,20	2,10	0,88

Tabella 55 Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.5 POLESANA nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 5 POLESAN	Numero di	Media	Deviazione	Mini	Q1	Media	Q3	Massi	IQR
-------------------------------	-----------	-------	------------	------	----	-------	----	-------	-----

A (ng/l)	campioni		standard	mo		na		mo	
2017	1	5,00	-	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	0,00
2018	5	2,33	+/-0,67	1,19	2,33	2,59	2,70	2,86	0,37
2019	21	1,56	+/-1,22	0,27	0,70	1,62	2,23	5,68	1,53
2020	11	1,75	+/-0,69	0,51	1,31	1,81	2,19	2,82	0,88
2021	11	1,80	+/-0,73	0,66	1,13	1,99	2,39	2,79	1,27
2022	13	1,75	+/-0,91	0,43	0,96	1,70	2,58	2,97	1,62
2023	16	1,48	+/-0,84	0,26	0,80	1,48	2,16	2,67	1,36

Tabella 56 Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.6 EUGANEA nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 6 EUGANEA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Mini mo	Q1	Media na	Q3	Massi mo	IQR
2017	5	9,80	+/-5,96	5,00	5,50	6,00	15,00	17,50	9,50
2018	17	6,23	+/-5,43	0,40	4,08	5,00	6,80	25,00	2,72
2019	25	3,78	+/-2,78	0,20	2,13	3,62	5,13	11,60	3,01
2020	28	3,11	+/-1,80	0,65	2,18	2,93	3,45	7,91	1,27
2021	30	3,01	+/-1,49	0,55	1,75	2,90	3,89	5,82	2,14
2022	34	2,89	+/-1,54	0,41	1,95	3,03	3,79	6,48	1,83
2023	36	2,51	+/-1,42	0,50	1,44	2,67	3,37	6,21	1,93

Tabella 57 Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.7 PEDEMONTANA nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 7 PEDEMON TANA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Mini mo	Q1	Media na	Q3	Massi mo	IQR
2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2018	2	2,54	+/-2,88	0,50	1,52	2,54	3,55	4,57	2,04
2019	3	1,00	+/-0,70	0,20	0,76	1,31	1,41	1,50	0,65
2020	3	6,75	+/-10,19	0,33	0,88	1,43	9,96	18,50	9,09
2021	1	1,77	-	1,77	1,77	1,77	,77	1,77	0,00

2022	2	1,11	+/-1,27	0,21	0,66	1,11	1,55	2,00	0,86
2023	3	1,38	+/-1,55	0,47	0,44	0,50	1,83	3,16	1,35

Tabella 58 Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.8 BERICA nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 8 BERICA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Mini mo	Q1	Media na	Q3	Massi mo	IQR
2017	8	64,86	+/-66,39	11,00	20,88	26,25	112,06	192,60	91,19
2018	15	28,42	+/-36,65	2,60	3,74	15,66	39,18	134,58	35,44
2019	16	22,02	+/-33,62	0,90	4,04	7,88	17,75	122,00	13,71
2020	23	7,11	+/-7,57	0,49	1,75	3,83	10,74	32,90	9,00
2021	26	7,09	+/-14,35	0,22	1,16	2,54	7,50	73,41	6,34
2022	22	11,85	+/-26,75	0,87	1,90	2,98	9,49	127,97	7,59
2023	28	6,87	+/-8,40	0,32	1,78	3,53	9,60	41,29	7,82

Tabella 59 Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.9 SCALIGERA nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 9 SCALIGERA	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Mini mo	Q1	Media na	Q3	Massi mo	IQR
2017	2	18,77	+/-19,47	5,00	11,88	18,77	25,65	32,53	13,77
2018	6	11,92	+/-8,86	1,90	7,16	8,45	19,13	23,32	11,97
2019	10	8,24	+/-12,12	0,22	1,05	1,52	11,97	35,82	10,92
2020	11	6,85	+/-8,34	0,83	1,14	2,57	10,45	26,94	9,31
2021	13	6,17	+/-7,97	0,19	1,17	1,99	9,97	23,15	8,80
2022	18	6,39	+/-10,66	0,22	1,29	1,78	4,64	39,83	3,35
2023	26	9,61	+/-26,45	0,26	1,24	1,86	5,17	136,25	3,93

Passando al PFOS (Tabelle 33-40), le differenze tra le AULSS risultano ancora più marcate. La AULSS N.8 (BERICA) si distingue nettamente, con concentrazioni medie significativamente superiori rispetto alle altre, in particolare negli anni iniziali del monitoraggio, dove si riscontrano valori massimi elevati rispetto agli altri anni e alle altre aree (ad esempio, 192,60 ng/l nel 2017). Anche la AULSS N.9 (SCALIGERA) presenta valori superiori alla media regionale, sebbene in

diminuzione negli anni successivi, pur evidenziando un picco anomalo di 136,25 ng/l nel 2023, probabilmente a causa dell'aumento del numero di campioni in quell'anno. D'altra parte, le altre AULSS mostrano concentrazioni molto basse, fino a 0,58 ng/l, con una stabilità che suggerisce un impatto ambientale limitato da questo contaminante. Tuttavia, la contaminazione è presente durante tutto il periodo in analisi e dovrebbe essere considerata una maggiore importanza a livello sanitario.

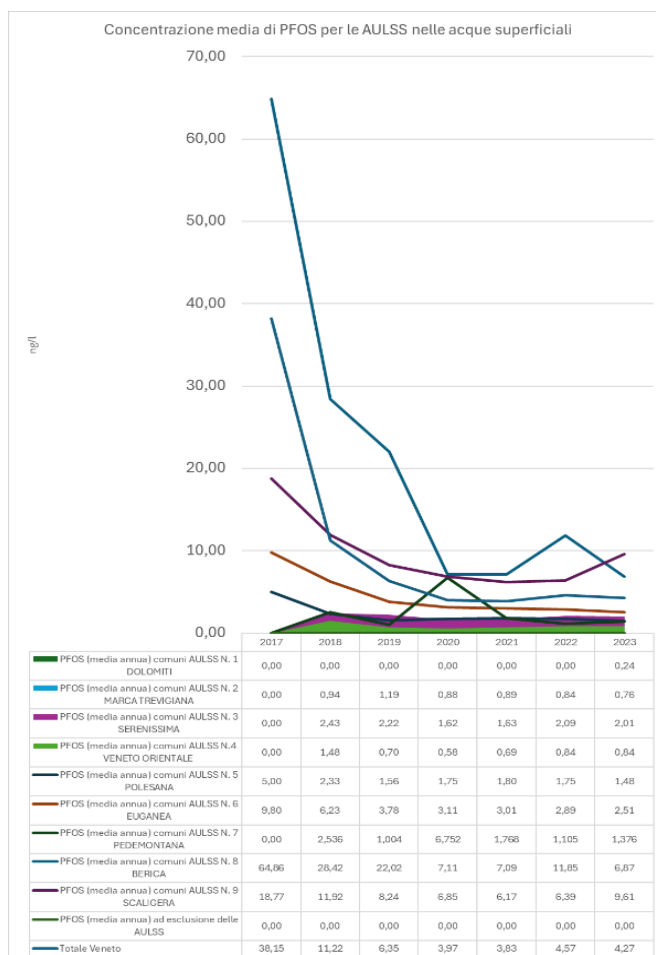


Figura 22 Grafico a linee delle concentrazioni medie delle AULSS per il PFOS nelle acque superficiali

- **Acque sotterranee**

PFOA:

Tabella 60 Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.2 MARCA TREVIGIANA nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Mini mo	Q1	Media na	Q3	Massi mo	IQR
2017	5	128,20	+/-146,25	8,00	42,00	86,00	128,00	377,00	86,00
2018	8	51,42	+/-60,12	5,00	9,00	32,17	58,25	171,00	49,25

2019	7	79,52	+/-17,01	6,00	18,00	50,33	128,67	207,00	110,67
2020	9	53,39	+/-66,62	6,00	16,00	20,00	40,33	207,00	24,33
2021	7	79,02	+/-80,24	11,00	34,08	60,50	82,00	249,50	47,92
2022	7	38,50	+/-38,72	7,00	11,50	28,00	47,00	117,50	35,50
2023	19	33,07	+/-75,07	2,00	3,00	6,33	22,50	309,00	19,50

Tabella 61 Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.3 SERENISSIMA nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 3 SERENISSI MA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Mini mo	Q1	Media na	Q3	Massi mo	IQR
2017	2	20,83	+/-0,24	20,67	20,75	20,83	20,92	21,00	0,17
2018	4	59,38	+/-92,24	6,00	12,75	17,00	63,63	197,50	50,88
2019	3	64,33	+/-60,78	12,00	31,00	50,00	90,50	131,00	59,50
2020	2	140,50	+/-158,39	28,50	84,50	140,50	196,50	252,50	112,00
2021	3	31,00	+/-28,84	7,00	15,00	23,00	43,00	63,00	28,00
2022	2	58,75	+/-13,08	49,50	54,13	58,75	63,38	68,00	9,25
2023	3	47,17	+/-32,27	11,00	34,25	57,50	65,25	73,00	31,00

Tabella 62 Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.5 POLESANA nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 5 POLESAN A (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Mini mo	Q1	Media na	Q3	Massi mo	IQR
2017	4	15,63	+/-12,27	5,00	6,13	13,25	22,75	31,00	16,63
2018	2	88,63	+/-104,12	15,00	51,81	88,63	125,44	162,25	73,63
2019	6	46,53	+/-57,84	16,00	19,08	22,42	33,13	163,67	14,04
2020	3	16,33	+/-5,51	11,00	13,50	16,00	19,00	22,00	5,50
2021	4	49,25	+/-61,45	14,00	14,75	21,00	55,50	141,00	40,75
2022	3	16,17	+/-4,07	11,50	14,75	18,00	18,50	19,00	3,75
2023	4	15,31	+/-8,38	4,00	12,44	16,63	19,50	24,00	7,06

Tabella 63 Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.6 EUGANEA nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 6 EUGANEA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Mini mo	Q1	Media na	Q3	Massi mo	IQR
2017	6	199,83	+/-180,96	14,00	46,29	172,73	335,95	445,00	289,66
2018	5	109,98	+/-117,25	7,75	11,00	60,33	215,33	255,50	204,33
2019	6	149,09	+/-144,18	5,00	38,68	151,36	179,38	397,00	140,70
2020	7	159,37	+/-187,72	6,00	22,00	133,50	194,78	542,50	172,78
2021	4	255,48	+/-195,94	132,6 7	149,42	170,88	276,94	547,50	127,52
2022	6	205,26	+/-71,83	14,00	71,83	124,54	142,69	765,50	70,85
2023	9	133,40	+/-6,50	3,00	6,50	114,80	182,75	477,67	176,25

Tabella 64 Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.7 PEDEMONTANA nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 7 PEDEMON TANA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Mini mo	Q1	Media na	Q3	Massi mo	IQR
2017	5	18,13	+/-25,20	5,00	5,00	6,67	11,00	63,00	6,00
2018	8	39,66	+/-59,78	5,00	7,46	10,88	35,57	171,33	28,11
2019	8	23,05	+/-29,02	5,00	6,50	8,17	24,19	75,64	17,69
2020	6	28,73	+/-45,70	5,00	6,21	7,93	20,81	120,80	14,60
2021	7	48,36	+/-81,12	5,00	5,90	15,00	40,12	226,50	34,22
2022	5	94,55	+/-83,83	8,75	21,00	80,00	180,00	183,00	159,00
2023	10	22,86	+/-35,92	2,00	3,63	6,54	12,75	96,00	9,13

Tabella 65 Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.8 BERICA nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 8 BERICA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Mini mo	Q1	Media na	Q3	Massi mo	IQR
2017	19	791,81	+/-1070,62	13,17	71,64	255,67	1039,6 0	3175,2 1	967,96
2018	21	707,32	+/-1125,34	10,86	41,00	271,50	789,28	4683,8 9	748,28

2019	21	725,43	+/-1189,34	6,00	29,50	201,20	1191,77	4858,67	1162,27
2020	21	844,38	+/-1508,17	6,50	31,00	200,73	957,75	6102,24	926,75
2021	20	902,82	+/-1553,30	8,50	26,06	171,83	928,54	6088,16	902,48
2022	21	896,44	+/-1572,61	5,00	31,81	167,09	759,00	5619,25	727,19
2023	24	948,62	+/-1897,76	4,00	11,58	133,93	744,48	8217,97	732,90

Tabella 66 Tabella descrittiva del PFOA per l'AULSS N.9 SCALIGERA nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 9 SCALIGER A (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Mini mo	Q1	Media na	Q3	Massi mo	IQR
2017	12	301,83	+/-762,61	5,00	13,92	26,96	167,63	2780,33	153,72
2018	16	269,38	+/-779,39	5,00	8,32	23,21	98,07	3222,80	89,75
2019	14	275,72	+/-681,26	5,00	9,19	67,39	151,50	2660,40	142,31
2020	14	384,37	+/-980,71	5,00	11,98	39,43	188,92	3838,25	176,93
2021	16	349,14	+/-963,71	6,00	17,28	31,40	177,59	4004,00	160,31
2022	16	293,68	+/-906,61	5,00	11,13	17,05	161,18	3771,00	150,05
2023	20	187,25	+/-604,46	3,00	5,58	15,67	62,64	2776,00	57,07

Nelle acque sotterranee, le concentrazioni di PFOA (Tabelle 41-47) evidenziano valori significativamente più alti nell'AULSS N.8 (BERICA), con massimi che raggiungono 8217,97 ng/l nel 2023. La media e la deviazione standard, particolarmente elevate e in crescita nel periodo analizzato, indicano una contaminazione persistente e in aumento, probabilmente legata a fonti di inquinamento ancora attive o a una limitata capacità di diluizione nel sottosuolo.

Anche l'AULSS N.9 (SCALIGERA) ha registrato livelli elevati, con un massimo di 4004,00 ng/l nel 2021. Tuttavia, i dati più recenti mostrano una diminuzione generale, suggerendo una graduale riduzione della contaminazione negli ultimi anni. Le altre AULSS non presentano valori particolarmente elevati, sebbene in alcuni anni si osservino picchi anomali. Questi episodi sembrano indicare una contaminazione puntuale e non uniforme, legata a eventi specifici piuttosto che a una contaminazione diffusa e costante.

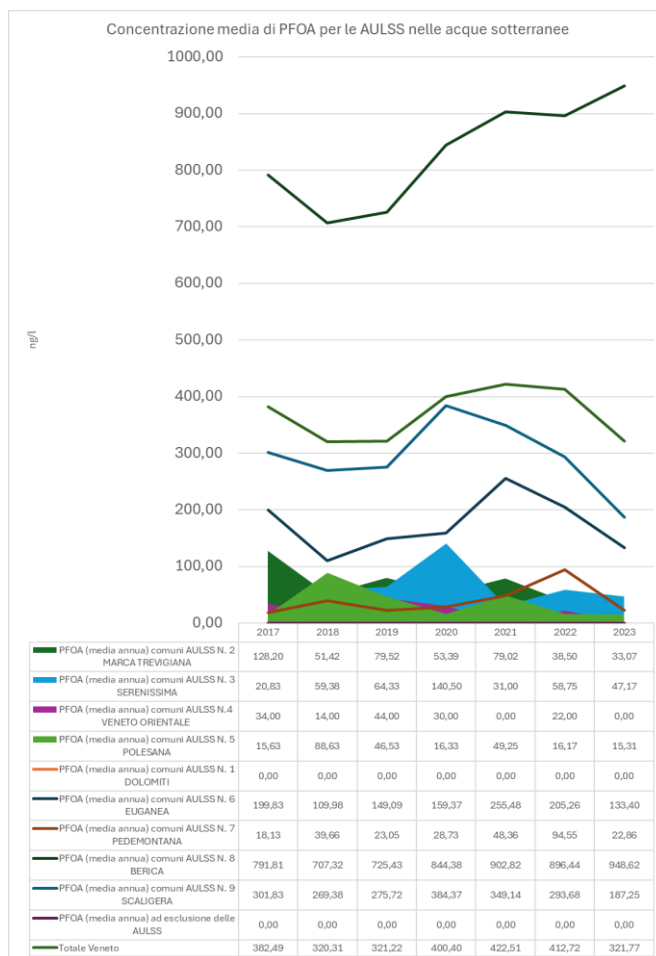


Figura 23 Grafico a linee delle concentrazioni medie delle AULSS per il PFOA nelle acque sotterranee.

PFOS:

Tabella 67 Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.2 MARCA TREVIGIANA nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Mini mo	Q1	Media na	Q3	Massi mo	IQR
2017	6	27,03	+/-33,50	5,00	5,75	13,50	30,00	91,50	24,25

2018	5	30,50	+/-29,65	7,00	11,00	12,00	48,00	74,50	37,00
2019	2	17,38	+/-9,37	10,75	14,06	17,38	20,69	24,00	6,63
2020	4	20,32	+/-14,01	7,67	9,87	17,80	28,25	38,00	18,38
2021	8	38,53	+/-47,43	5,00	8,63	10,88	55,00	125,00	46,38
2022	6	10,00	+/-4,60	6,00	6,25	8,50	13,00	17,00	6,75
2023	12	10,12	+/-15,56	2,00	2,38	5,00	8,25	57,00	5,88

Tabella 68 Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.6 EUGANEA nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 6 EUGANEA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Mini mo	Q1	Media na	Q3	Massi mo	IQR
2017	1	17,00	-	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	0,00
2018	4	13,08	+/-8,83	6,00	9,00	10,17	14,25	26,00	5,25
2019	3	91,33	+/-129,78	10,00	16,50	23,00	132,00	241,00	115,50
2020	4	27,68	+/-19,48	11,00	11,00	25,85	42,53	48,00	31,53
2021	2	22,58	+/-24,86	5,00	13,79	22,58	31,37	40,16	17,58
2022	4	167,90	+/-277,75	9,33	14,71	39,63	192,81	583,00	178,10
2023	4	86,38	+/-163,53	3,00	4,75	5,42	87,04	331,67	82,29

Tabella 69 Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.7 PEDEMONTANA nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 7 PEDEMON TANA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Mini mo	Q1	Media na	Q3	Massi mo	IQR
2017	3	100,33	+/-145,21	15,00	16,50	18,00	143,00	268,00	126,50
2018	6	33,00	+/-31,74	7,00	10,28	19,40	49,45	85,50	39,18
2019	7	39,73	+/-47,15	5,00	7,50	13,75	62,83	118,67	55,33
2020	5	25,91	+/-24,87	5,00	9,80	10,89	42,00	61,86	32,20
2021	6	33,91	+/-41,12	6,00	7,54	9,74	55,08	101,00	47,53
2022	4	49,93	+/-64,75	7,00	11,65	23,60	61,88	145,50	50,23
2023	7	17,14	+/-20,24	2,00	3,00	7,00	27,25	48,00	24,25

Tabella 70 Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.8 BERICA nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 8 BERICA (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Mini mo	Q1	Media na	Q3	Massi mo	IQR
2017	17	79,40	+/-95,39	5,00	24,00	37,12	56,00	335,25	32,00
2018	17	76,73	+/-82,82	5,00	20,76	49,50	72,50	275,00	51,74
2019	16	80,93	+/-93,87	6,00	29,14	44,33	74,76	282,36	45,62
2020	20	69,47	+/-81,59	7,67	18,91	42,90	78,22	307,19	59,31
2021	18	80,39	+/-75,21	6,00	36,03	63,88	93,75	326,00	57,72
2022	21	77,85	+/-109,08	5,00	14,00	40,11	70,17	449,67	56,17
2023	19	77,67	+/-132,90	3,00	9,55	28,50	60,91	537,72	51,35

Tabella 71 Tabella descrittiva del PFOS per l'AULSS N.9 SCALIGERA nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

AULSS N. 9 SCALIGER A (ng/l)	Numero di campioni	Media	Deviazione standard	Mini mo	Q1	Media na	Q3	Massi mo	IQR
2017	8	29,36	+/-26,76	5,00	6,50	23,35	46,54	70,00	37,04
2018	9	19,41	+/-16,81	5,50	6,00	6,75	33,33	49,40	27,33
2019	6	38,24	+/-35,52	8,17	13,30	25,60	51,88	100,21	38,58
2020	10	18,41	+/-16,28	6,00	7,25	11,50	19,94	53,10	12,69
2021	8	17,47	+/-17,67	5,00	6,75	10,77	17,25	55,25	10,50
2022	8	18,35	+/-20,28	5,00	5,94	7,60	21,94	53,08	16,00
2023	11	11,20	+/-12,74	2,50	3,90	6,00	11,65	41,85	7,75

Anche per il PFOS (Tabelle 48-52), l'AULSS N.8 (BERICA) registra mediamente i livelli più alti, con una persistenza significativa nel tempo e valori massimi che in alcuni anni superano i 500 ng/l. Questa tendenza indica una contaminazione costante e potenzialmente legata a fonti persistenti nell'area.

Le AULSS N.7 (PEDEMONTANA) e N.6 (EUGANEA), pur non raggiungendo i livelli della Berica, presentano picchi occasionali che, sebbene isolati, risultano preoccupanti per il loro carattere anomalo e l'impatto potenziale sull'ambiente e sulla salute pubblica.

In generale, la tendenza temporale del PFOS, fatta eccezione per le AULSS N.6 e N.8, mostra una certa stabilità o un lieve declino nel tempo, suggerendo una graduale riduzione dell’impatto nelle altre aree monitorate.

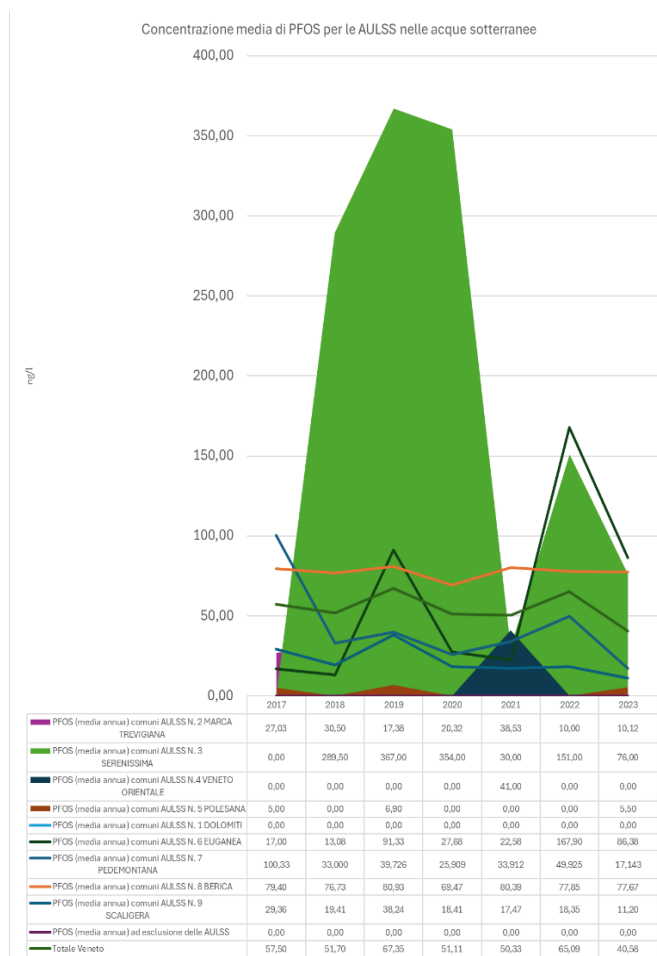


Figura 24 Grafico a linee delle concentrazioni medie delle AULSS per il PFOS nelle acque sotterranee

5.5 Confronto delle concentrazioni di PFOA e PFOS nelle acque con i limiti normativi e standard di qualità ambientale

Nel presente paragrafo, viene effettuato un confronto dettagliato delle concentrazioni rilevate per le sostanze PFAS nelle acque superficiali e sotterranee del Veneto. Il confronto viene eseguito attraverso la consultazione dei limiti fissati dalla normativa per le due tipologie di acqua, ovvero gli standard di qualità ambientale (SQA), definiti dal D.Lgs. 172/2015 che recepisce le direttive europee in materia di protezione delle acque, e i valori soglia, stabiliti tramite D.M. 6 luglio 2016, che definisce i livelli massimi di sostanze contaminanti per la protezione delle falde acquifere.

Come spiegato nel paragrafo 4.6 “SQA e valori soglia” presente nel Capitolo “Materiali e metodi”, i dati rilevati per il PFOA e PFOS nelle acque sono stati elaborati mediante l'uso di formule Excel,

SE(cella > limite; cella;), che hanno verificato i superamenti dei limiti fissati dalla normativa. Considerata la lunghezza delle tabelle sui superamenti dei limiti per PFOA e PFOS, i risultati sono stati inseriti in forma completa nell'ALLEGATO II, alla fine della tesi.

- **Acque superficiali**

Come già evidenziato nel paragrafo 4.6 “SQA e valori soglia” del precedente capitolo, l'analisi dei dati delle acque superficiali fornite da ARPAV ha evidenziato un problema nel corso del 2017 legato al limite di quantificazione (LOQ) per il PFOS. Secondo quanto stabilito dal D.Lgs. n. 219 del 2010, il LOQ dei metodi analitici utilizzati deve essere uguale o inferiore al 30% del valore dello Standard di Qualità Ambientale - Media Annuo (SQA-MA) per garantire una corretta quantificazione e valutazione delle concentrazioni. Tuttavia, nei dati acquisiti da ARPAV nel corso del 2017, il LOQ per le analisi del PFOS è risultato superiore al valore di riferimento normativo, rendendo difficile una corretta valutazione rispetto agli SQA-MA stabiliti.

Nella sezione che segue, saranno presentati i superamenti degli SQA-MA per PFOA e PFOS, con una suddivisione per punto di campionamento, fornendo una chiara panoramica delle aree interessate e con definizione del LOQ secondo quanto stabilito dalla normativa.

L'analisi dei campioni prelevati da ARPAV tra il 2017 e il 2023 evidenzia una situazione di contaminazione da **PFOA** in vari comuni della regione Veneto, con particolari criticità in alcune aree specifiche. Tra i comuni maggiormente colpiti si distinguono quelli appartenenti alla AULSS N.8 BERICA, dove emergono valori costantemente superiori al limite normativo per tutto il periodo analizzato. I comuni geograficamente fanno parte dell'area rossa A (ARA), zona di massima attenzione, e dell'area arancione (AAR). Vicenza (AAR) stessa è uno dei comuni più critici, con concentrazioni di PFOA che hanno raggiunto i 495,50 ng/l nel 2017 e 369,08 ng/l nel 2018, mentre Lonigo (ARA) ha mostrato livelli superiori a 700 ng/l sia nel 2017 che nel 2022. Un caso particolare è quello di Creazzo (AAR), che ha registrato un picco anomalo di 531,08 ng/l nel 2018, pur trattandosi di una rilevazione sporadica e non costante nel tempo (Vedi Figura 1 dell'ALLEGATO I).

Anche la AULSS N.9 SCALIGERA mostra criticità simili, dove i comuni con concentrazioni più elevate ricadono prevalentemente nell'area rossa A, e tra questi Zimella (ARA) ha registrato un picco di 364,62 ng/l nel 2019, mentre Cologna Veneta (ARA) ha raggiunto 303,84 ng/l nel 2023.

Per il **PFOS**, essendo il limite pari a 0,65 ng/l ($6,5 \times 10^{-4}$ µg/l), i superamenti sono stati rilevati in quasi tutti i comuni della regione. Come già menzionato, il limite ha creato delle problematiche legate alla capacità dei metodi analitici di rilevare correttamente le concentrazioni, soprattutto nei primi anni di

campionamento. In particolare, nel 2017 il limite di quantificazione (LOQ) del metodo analitico utilizzato da ARPAV era superiore allo SQA-MA, rendendo i dati raccolti non considerabili per l'analisi dei superamenti.

La AULSS N.8 mostra livelli particolarmente elevati di PFOS, soprattutto nei comuni di Altavilla Vicentina, Longare, Lonigo, Sarego e Vicenza, dove si registrano concentrazioni superiori ai 100 ng/l. La situazione è simile anche per alcuni appartenenti alla AULSS N.9, come Cologna Veneta, San Giovanni Ilarione e Zimella, che hanno rilevato valori oltre i 30 ng/l. In entrambe sono stati segnalati anche picchi anomali, come a Creazzo (134,58 ng/l nel 2018) e a Vestenanova (136,25 ng/l nel 2023), evidenziando casi isolati ma significativi di contaminazione.

Pertanto, le aree di impatto più critiche a cui fanno parte i comuni precedentemente citati, sono comprese nell'area rossa A e nell'area arancione. Le concentrazioni nelle altre province risultano generalmente più contenute, ma il problema rimane diffuso, con superamenti frequenti anche se a livelli inferiori.

A differenza del PFOA, la contaminazione da PFOS si estende su tutte le acque superficiali campionate di tutta la regione, con superamenti del limite normativo in ogni comune, senza eccezioni. Sebbene nelle province meno critiche le concentrazioni siano generalmente più contenute e stabili, il problema rimane diffuso.

- **Acque sotterranee**

Di seguito verranno illustrati i superamenti dei valori soglia delle due sostanze nelle acque sotterranee.

L'analisi delle acque sotterranee per il superamento del valore soglia di 500 ng/l di **PFOA** mostra una distribuzione delle concentrazioni eccessive in diverse zone del Veneto. Concentrazioni superiori ai 500 ng/l sono state rilevate in numerosi punti, specialmente nelle zone codificate come ARA e AAR, che includono comuni gestiti dalla AULSS N.8 BERICA e dalla AULSS N.9 SCALIGERA. In particolare, i comuni di questa zona centro-occidentale della regione registrano concentrazioni che vanno dai 1000 ng/l fino ad oltre gli 8000 ng/l, ad esempio il comune di Sarego (zona ARA e AULSS N.8) ha mostrato picchi elevati, con concentrazione massima nel 2023 di 8217,97 ng/l. Altri comuni in zone come AAR e ARB, inclusi Vicenza, Creazzo e Zimella, mostrano un pattern simile, con concentrazioni che superano costantemente il limite.

In generale, quindi, le aree più colpite appartengono principalmente alla AULSS N.8 e alla AULSS N.9, dove le concentrazioni superano spesso il limite normativo, evidenziando una contaminazione

persistente e preoccupante delle falde acquifere. Tuttavia, anche altre AULSS, come la AULSS N.6 EUGANEA e la AULSS N.5 POLESANA, mostrano superamenti, sebbene con valori generalmente inferiori rispetto alle aree critiche precedentemente citate.

I superamenti riguardanti il **PFOS**, con un valore soglia di 30 ng/l, indicano anche in questo caso, che la situazione più critica si riscontra in aree coperte da varie Aziende Unità Locali Socio-Sanitarie (AULSS), con maggiori criticità rilevate nelle aziende gestite dalla AULSS N.8 BERICA, AULSS N.9 SCALIGERA, e AULSS N.6 EUGANEA. Le aree più colpite includono l'area rossa A (ARA) e l'area arancione (AAR), dove si registrano concentrazioni di PFOS costantemente superiori al limite normativo per tutto il periodo di analisi. Queste aree presentano picchi significativi, come a Trissino (AULSS N.8), dove nel 2023 è stato rilevato un valore di 537,72 ng/l.

In alcune aree considerate meno critiche, come quelle classificate come "area verde" o di controllo, si sono verificati picchi anomali. Ad esempio, ad Abano Terme (AULSS N.6) è stato registrato un valore di 583 ng/L, e a Mirano (AULSS N.3 SERENISSIMA) si sono riscontrate concentrazioni inaspettatamente nel 2020 con 354,00 ng/l.

Nel complesso, le aree più colpite dalla contaminazione da **PFOA** e **PFOS** sono quelle gestite dalle AULSS N.8 BERICA e AULSS N.9 SCALIGERA in particolare l'area rossa A e l'area arancione, che presentano concentrazioni costantemente superiori ai limiti normativi.

5.6 Discussione dei risultati

L'analisi delle concentrazioni di PFOA e PFOS nelle acque del Veneto, condotta sui dati raccolti tra il 2017 e il 2023 dall'ARPAV, ha evidenziato importanti tendenze nella contaminazione di queste sostanze. Lo studio, organizzato secondo tipologie di acque (superficiali, sotterranee e sorgenti/risorgive) e livelli di aggregazione geografica (aree di impatto e AULSS), ha utilizzato mappe cartografiche e sintesi statistiche per descrivere la distribuzione spaziale e temporale della contaminazione, valutandone l'aderenza ai limiti normativi.

Le rappresentazioni cartografiche, sviluppate con il software QGis, mostrano un aumento significativo dei punti di campionamento in tutte e tre le tipologie di acque durante il periodo analizzato. Questo ampliamento riflette l'intensificazione delle attività di monitoraggio, soprattutto nelle aree industrializzate e nelle zone critiche per l'esposizione sanitaria. Le mappe del 2017, 2020 e 2023 evidenziano un incremento dei campionamenti nelle aree rosse e arancioni, con un'estensione progressiva verso zone meno monitorate, come quelle montane. A livello di AULSS, la maggiore

densità di punti si osserva nelle AULSS N.8 BERICA e N.9 SCALIGERA, che risultano anche le più colpite dalla contaminazione.

Le analisi descrittive confermano il trend emerso dalle mappe, evidenziando concentrazioni elevate di PFOA e PFOS nelle aree rosse, in particolare nell'area rossa ARA, dove i dati indicano una contaminazione persistente fortemente influenzata dalle attività industriali. L'area arancione presenta una contaminazione moderata ma non uniforme, con valori variabili in base alla tipologia di suolo e alla distanza dalle fonti principali di inquinamento. Le concentrazioni più basse si registrano nelle aree verdi e nelle zone di controllo, dove i valori riflettono principalmente il background ambientale. Anche l'analisi per AULSS evidenzia differenze significative tra i territori. Le AULSS N.8 BERICA e N.9 SCALIGERA emergono come le più colpite, con livelli di contaminazione elevati per entrambe le sostanze e per tutte le tipologie di acque analizzate, confermando un maggiore impatto sanitario e ambientale. Al contrario, nelle altre AULSS i valori risultano sensibilmente più bassi, probabilmente grazie alla minore industrializzazione e al ridotto contatto con le principali fonti di contaminazione. Nonostante ciò, è fondamentale mantenere attivo il piano di monitoraggio anche in aree dove le concentrazioni appaiono più contenute, per garantire un controllo continuo e una protezione efficace delle risorse idriche.

Il confronto con i limiti normativi (ALLEGATO II) ha messo in luce frequenti superamenti, in particolare nelle acque sotterranee e nelle aree rosse. Questi risultati sottolineano la necessità di interventi mirati per mitigare la contaminazione e preservare la qualità delle risorse idriche, essenziali per gli usi umani e agricoli.

Tuttavia, l'interpretazione dei risultati deve tener conto di alcune limitazioni. Le dinamiche di contaminazione sono influenzate da molteplici fattori, tra cui il contributo storico e recente di attività industriali come la Ri.Mar e la MITENI, le caratteristiche del suolo e le condizioni climatiche. Eventi come il regime pluviometrico annuale, i periodi di siccità e la saturazione dei terreni possono incidere significativamente sul trasporto e sulla diffusione dei contaminanti. Inoltre, la mobilità del PFOA, altamente solubile, e l'affinità del PFOS per i sedimenti complicano ulteriormente il quadro. La mancanza di dati completi sulla contaminazione del suolo rappresenta un ulteriore limite, riducendo la possibilità di descrivere esaustivamente i rischi ambientali.

5.7 Conclusione

I risultati ottenuti evidenziano una distribuzione spaziale e temporale eterogenea delle concentrazioni di PFOA e PFOS nelle diverse tipologie di acque della regione Veneto. L'area rossa, di massima

esposizione sanitaria, l'area arancione e AULLS N.8 BERICA e N.9 SCALIGERA si confermano le aree e aziende con i livelli di contaminazione più elevati, riflettendo una diretta connessione con le principali fonti industriali e il territorio. Tuttavia, il monitoraggio ha rilevato una progressiva estensione della contaminazione anche in zone limitrofe, richiedendo una sorveglianza continua. I confronti con i limiti normativi sottolineano la persistenza del superamento di soglie critiche in alcune aree, e la presenza di picchi anomali che riflettono una contaminazione puntuale e isolata. Questi dati, combinati con analisi statistiche e rappresentazioni geografiche, forniscono un quadro utile per indirizzare interventi mirati di mitigazione e gestione della qualità delle risorse idriche, ponendo le basi per ulteriori studi e azioni correttive.

CAPITOLO 6

CONCLUSIONI GENERALI DELLA TESI

6.1 Sintesi dei risultati principali

La presente tesi ha analizzato in dettaglio i livelli di contaminazione da PFOA e PFOS nelle acque superficiali, sotterranee e sorgive della regione Veneto nel periodo 2017-2023. L'indagine si è basata sui dati di campionamento forniti da ARPAV, elaborati attraverso analisi statistiche descrittive, georeferenziazione tramite QGis e confronto con i limiti normativi vigenti.

I risultati hanno evidenziato una distribuzione eterogenea della contaminazione, con aree geografiche e aziende sanitarie locali maggiormente colpite. In particolare, si sono distinte per i livelli più elevati:

- L'area rossa A (ARA) e l'area arancione (AAR), zone di massima esposizione sanitaria;
- Le AULSS N.8 Berica e N.9 Scaligera, che comprendono i comuni industrializzati di Vicenza, Lonigo, Trissino e altri centri dell'area "Rossa".

In queste zone critiche, le concentrazioni medie di PFOA e PFOS hanno frequentemente superato i limiti normativi, con picchi estremamente elevati nelle acque sotterranee (fino a 8217 ng/l di PFOA a Sarego nel 2023 e 583 ng/l di PFOS ad Abano Terme nel 2022). Anche le acque superficiali hanno mostrato valori molto alti, come 758 ng/l di PFOA a Lonigo nel 2017.

Tuttavia, la contaminazione non è rimasta circoscritta alle aree iniziali ma si è progressivamente estesa ad altre zone, come l'area gialla e l'area verde, seppur con livelli generalmente più contenuti. Questo suggerisce una diffusione graduale dei contaminanti attraverso le diverse matrici ambientali.

Il confronto con le aree di controllo e i dati delle altre AULSS ha permesso di individuare il *background* ambientale di fondo, confermando l'impatto significativo delle attività industriali nelle zone rosse e arancioni.

In particolare, la tesi è stata strutturata in 6 capitoli di cui si riporta una breve sintesi conclusiva.

Il **primo** capitolo, "INTRODUZIONE GENERALE ALLA TESI", ha delineato il contesto e la rilevanza dello studio sui composti perfluoroalchilici (PFAS) nella regione Veneto. Ha evidenziato come queste sostanze chimiche persistenti, note come "inquinanti eterni", siano state ampiamente utilizzate in numerosi settori industriali a partire dagli anni '50, portando a una diffusa contaminazione ambientale. Il quadro normativo internazionale, europeo e nazionale è stato presentato, sottolineando

gli sforzi per limitare l'uso e la dispersione di queste sostanze a causa dei loro effetti nocivi sull'ambiente e sulla salute umana.

Il capitolo **secondo**, “SOSTANZE PER- E POLIFLUOROALCHILICHE”, ha fornito una panoramica dettagliata sui PFAS, definendone la struttura chimica, le proprietà fisico-chimiche e le principali fonti di esposizione. Sono stati esaminati gli usi industriali di questi composti in vari settori, come l'energia, le schiume antincendio, i prodotti tessili e molti altri. Inoltre, sono state discusse le implicazioni tossicologiche dei PFAS, con particolare attenzione agli effetti sulla salute umana, come il rischio di cancro, le anomalie endocrine e la tossicità riproduttiva.

Nel capitolo **terzo**, “INQUADRAMENTO NORMATIVO” viene analizzato il quadro normativo relativo ai PFAS a livello internazionale, europeo e nazionale. Sono state esaminate le convenzioni internazionali come la Convenzione di Rotterdam e la Convenzione di Stoccolma sui POPs, nonché i regolamenti europei come REACH e CLP. Inoltre, sono state discusse le normative specifiche per la protezione delle acque superficiali, sotterranee e potabili, con particolare attenzione ai limiti e agli standard di qualità ambientale stabiliti per i PFAS.

All'interno del **quarto** capitolo, “MATERIALI E METODI”, è stato descritto l'approccio metodologico adottato nello studio, incentrato sull'analisi dei dati di campionamento delle acque forniti da ARPAV nella regione Veneto. Sono state illustrate le tecniche di elaborazione statistica, la georeferenziazione tramite QGIS e il confronto con i limiti normativi. Inoltre, è stata presentata la suddivisione dei dati per aree di impatto e Aziende Unità Locali Socio-Sanitarie (AULSS), al fine di valutare la distribuzione spaziale della contaminazione.

Nel capitolo **quinto**, “RISULTATI”, sono stati presentati i risultati ottenuti dall'analisi delle concentrazioni di PFOA e PFOS nelle diverse tipologie di acque del Veneto. Attraverso mappe geografiche, tabelle descrittive e grafici, sono state evidenziate le aree e le AULSS maggiormente colpite dalla contaminazione, con particolare attenzione alle zone rosse e arancioni. I superamenti dei limiti normativi sono stati analizzati dettagliatamente, fornendo un quadro completo della situazione ambientale nella regione.

Infine, il capitolo **sesto**, “CONCLUSIONI GENERALI DELLA TESI”, riassume le principali conclusioni dello studio, evidenziando le aree geografiche e le AULSS più critiche per la contaminazione da PFOA e PFOS. Sono state formulate considerazioni finali sull'impatto ambientale e sanitario di questa problematica, sottolineando la necessità di interventi mirati di bonifica, monitoraggio e trattamento delle acque contaminate. Infine, sono state proposte raccomandazioni e

prospettive future per affrontare efficacemente la sfida della contaminazione da PFAS nel Veneto e promuovere soluzioni sostenibili.

6.2 Considerazioni finali

I risultati ottenuti forniscono una panoramica dettagliata della grave contaminazione da PFAS che ha colpito il Veneto, con particolare riguardo a PFOA e PFOS. Nonostante la cessazione delle attività della MITENI, principale fonte di inquinamento, i dati più recenti indicano la persistenza di elevate concentrazioni in alcune aree, a testimonianza della resistenza di questi "inquinanti eterni" nell'ambiente.

Diverse considerazioni emergono da questo studio:

1. La contaminazione storica ha causato un accumulo di PFAS nelle falde acquifere e nei suoli dell'area industriale vicentina, rappresentando una fonte di rilascio prolungato che alimenta la diffusione nelle acque superficiali e sotterranee circostanti. Questo fenomeno richiede interventi di bonifica mirati per rimuovere le fonti primarie di contaminazione.
2. Le caratteristiche chimico-fisiche di PFOA e PFOS, come l'elevata solubilità, lo scarso adsorbimento sui suoli e la resistenza alla degradazione, favoriscono la loro mobilità e persistenza nell'ambiente. Questo complica notevolmente gli sforzi di mitigazione e richiede l'adozione di tecnologie avanzate per il trattamento delle acque contaminate.
3. L'estensione geografica della contaminazione evidenzia l'importanza di un monitoraggio capillare e continuativo, che copra non solo le aree critiche ma anche le zone limitrofe e potenzialmente a rischio. Ciò consentirebbe di rilevare tempestivamente eventuali nuove fonti di inquinamento e di valutare l'efficacia delle misure di mitigazione adottate.
4. La contaminazione delle risorse idriche rappresenta un grave rischio per la salute pubblica e per le attività agricole e zootecniche della regione. È fondamentale adottare misure precauzionali, come la fornitura di acqua potabile sicura e il monitoraggio degli alimenti prodotti nelle aree contaminate.
5. La complessità del problema richiede un approccio multidisciplinare che coinvolga autorità locali, enti di ricerca, industrie e cittadini. Solo attraverso una stretta collaborazione e la condivisione di conoscenze e risorse sarà possibile affrontare efficacemente questa sfida ambientale e sanitaria.

6.3 Raccomandazioni e prospettive future

Sulla base delle considerazioni emerse, è possibile formulare alcune raccomandazioni per affrontare la contaminazione da PFAS nel Veneto e prevenire situazioni simili in futuro:

1. Implementare un programma di bonifica ambientale nelle aree critiche, con l'obiettivo di rimuovere le fonti primarie di contaminazione e ridurre il rilascio di PFAS nelle falde acquifere e nei corpi idrici superficiali. Questo potrebbe richiedere l'adozione di tecnologie innovative come l'ossidazione chimica, l'adsorbimento su carboni attivi o la fitodepurazione.
2. Potenziare il sistema di monitoraggio ambientale, estendendolo a un'area geografica più ampia e aumentando la frequenza dei campionamenti. Ciò consentirebbe di rilevare tempestivamente eventuali nuove fonti di contaminazione e di valutare l'efficacia delle misure di mitigazione adottate.
3. Sviluppare e implementare tecnologie avanzate per il trattamento delle acque contaminate, come l'osmosi inversa, la nanofiltrazione o l'ossidazione avanzata, al fine di garantire la fornitura di acqua potabile sicura alle popolazioni interessate.
4. Condurre ulteriori studi sull'impatto della contaminazione da PFAS sulla catena alimentare e sulla salute umana, con particolare attenzione alle popolazioni maggiormente esposte. Questi studi dovrebbero comprendere il biomonitoraggio e la valutazione dei rischi per la salute.
5. Promuovere la collaborazione tra enti locali, autorità sanitarie, industrie e cittadini, al fine di condividere informazioni, coordinare gli sforzi e sensibilizzare l'opinione pubblica sull'importanza di affrontare questa problematica ambientale.
6. Incoraggiare la ricerca e lo sviluppo di alternative sostenibili ai PFAS, al fine di ridurre progressivamente l'utilizzo di queste sostanze chimiche persistenti e promuovere l'adozione di soluzioni più sicure per l'ambiente e la salute umana.

La contaminazione da PFAS rappresenta una sfida complessa e di lunga durata per il Veneto e per molte altre regioni del mondo. Tuttavia, attraverso un approccio coordinato, basato sulla scienza e sulla collaborazione tra tutti gli attori coinvolti, è possibile affrontare efficacemente questa problematica e preservare la qualità delle risorse idriche e dell'ambiente per le generazioni future.

Bibliografia e sitografia:

- Abunada, Z., Alazaiza, M. Y. D., & Bashir, M. J. K. (2020). An overview of per- and Polyfluoroalkyl substances (PFAS) in the environment: source, fate, risk and regulations. *Water*, 12(12), 3590. <https://doi.org/10.3390/w12123590>
- Alam, M. S., Abbasi, A., & Chen, G. (2024). Fate, distribution, and transport dynamics of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) in the environment. *Journal of Environmental Management*, 371, 123163. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123163>
- Armitage, J. M., Arnot, J. A., Wania, F., & Mackay, D. (2012b). Development and evaluation of a mechanistic bioconcentration model for ionogenic organic chemicals in fish. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 32(1), 115–128. <https://doi.org/10.1002/etc.2020>
- Asa, S.L., Erickson, L.A. & Rindi, G. The Spectrum of Endocrine Pathology. *Endocr Pathol* 34, 368–381 (2023). <https://doi.org/10.1007/s12022-023-09758-0>
- Averina, M., Huber, S., Almås, B., Brox, J., Jacobsen, B. K., Furberg, A., & Grimnes, G. (2023). Early menarche and other endocrine disrupting effects of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in adolescents from Northern Norway. The Fit Futures study. *Environmental Research*, 242, 117703. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117703>
- Bach, C., Dauchy, X., Boiteux, V., Colin, A., Hemard, J., Sagres, V., Rosin, C., & Munoz, J. (2016b). The impact of two fluoropolymer manufacturing facilities on downstream contamination of a river and drinking water resources with per- and polyfluoroalkyl substances. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(5), 4916–4925. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8243-3>
- Barry, V., Winqvist, A., & Steenland, K. (2013). Perfluorooctanoic Acid (PFOA) Exposures and Incident Cancers among Adults Living Near a Chemical Plant. *Environmental Health Perspectives*, 121(11–12), 1313–1318. <https://doi.org/10.1289/ehp.1306615>

- Bartell, S. M., & Vieira, V. M. (2021). Critical review on PFOA, kidney cancer, and testicular cancer. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 71(6), 663–679. <https://doi.org/10.1080/10962247.2021.1909668>
- Batzella, E., Jeddi, M. Z., Pitter, G., Russo, F., Fletcher, T., & Canova, C. (2022). Associations between Mixture of Perfluoroalkyl Substances and Lipid Profile in a Highly Exposed Adult Community in the Veneto Region. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), 12421. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912421>
- Bommarito, P. A., Ferguson, K. K., Meeker, J. D., McElrath, T. F., & Cantonwine, D. E. (2021). Maternal Levels of Perfluoroalkyl Substances (PFAS) during Early Pregnancy in Relation to Preeclampsia Subtypes and Biomarkers of Preeclampsia Risk. *Environmental Health Perspectives*, 129(10). <https://doi.org/10.1289/ehp9091>
- Cheng, X., Wei, Y., Zhang, Z., Wang, F., He, J., Wang, R., Xu, Y., Keerman, M., Zhang, S., Zhang, Y., Bi, J., Yao, J., & He, M. (2022). Plasma PFOA and PFOS levels, DNA methylation, and blood lipid levels: a pilot study. *Environmental Science & Technology*, 56(23), 17039–17051. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c04107>
- Clark, B. J., Prough, R. A., & Klinge, C. M. (2018). Mechanisms of action of dehydroepiandrosterone. *Vitamins and Hormones*, 29–73. <https://doi.org/10.1016/bs.vh.2018.02.003>
- Conte, L., & Gambaretto, G. (2003b). Electrochemical fluorination: state of the art and future tendencies. *Journal of Fluorine Chemistry*, 125(2), 139–144. <https://doi.org/10.1016/j.jfluchem.2003.07.002>
- DeLuca, N. M., Angrish, M., Wilkins, A., Thayer, K., & Hubal, E. a. C. (2020). Human exposure pathways to poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS) from indoor media: A systematic review protocol. *Environment International*, 146, 106308. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106308>

- DeWitt, J. C., Blossom, S. J., & Schaidler, L. A. (2018). Exposure to per-fluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances leads to immunotoxicity: epidemiological and toxicological evidence. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 29(2), 148–156. <https://doi.org/10.1038/s41370-018-0097-y>
- Domingo, J. L., & Nadal, M. (2019a). Human exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) through drinking water: A review of the recent scientific literature. *Environmental Research*, 177, 108648. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108648>
- ECHA (2023) Annex XV Restriction Report: Proposal for a Restriction. DOSSIER SUBMITTERS: Federal Institute for Occupational Safety and Health, Bureau REACH, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), Swedish Chemicals Agency (KEMI), Norwegian Environment Agency, and The Danish Environmental Protection Agency VERSION NUMBER: 2, DATE: 22.03.2023)
- Evich, M. G., Davis, M. J. B., McCord, J. P., Acrey, B., Awkerman, J. A., Knappe, D. R. U., Lindstrom, A. B., Speth, T. F., Tebes-Stevens, C., Strynar, M. J., Wang, Z., Weber, E. J., Henderson, W. M., & Washington, J. W. (2022b). Per- and polyfluoroalkyl substances in the environment. *Science*, 375(6580). <https://doi.org/10.1126/science.abg9065>
- Fenton, S. E., Ducatman, A., Boobis, A., DeWitt, J. C., Lau, C., Ng, C., Smith, J. S., & Roberts, S. M. (2020a). Per- and Polyfluoroalkyl Substance Toxicity and Human Health Review: Current State of Knowledge and Strategies for Informing Future Research. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 40(3), 606–630. <https://doi.org/10.1002/etc.4890>
- Gaber, N., Bero, L., & Woodruff, T. J. (2023). The Devil they Knew: Chemical Documents Analysis of Industry Influence on PFAS Science. *Annals of Global Health*, 89(1). <https://doi.org/10.5334/aogh.4013>
- Gallo, E., Amidei, C. B., Barbieri, G., Fabricio, A. S., Gion, M., Pitter, G., Daprà, F., Russo, F., Gregori, D., Fletcher, T., & Canova, C. (2021). Perfluoroalkyl substances and thyroid

- stimulating hormone levels in a highly exposed population in the Veneto Region. *Environmental Research*, 203, 111794. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111794>
- Ge, Q., Zhao, J., & Qu, F. (2024). Investigating the progression of preeclampsia through a comprehensive analysis of genes associated with per- and polyfluoroalkyl substances. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 34(4), 444–453. <https://doi.org/10.1080/15376516.2023.2299485>
- Genualdi, S., Beekman, J., Carlos, K., Fisher, C. M., Young, W., DeJager, L., & Begley, T. (2021). Analysis of per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS) in processed foods from FDA's Total Diet Study. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 414(3), 1189–1199. <https://doi.org/10.1007/s00216-021-03610-2>
- Ghisi, R., Vamerali, T., & Manzetti, S. (2018). Accumulation of perfluorinated alkyl substances (PFAS) in agricultural plants: A review. *Environmental Research*, 169, 326–341. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.10.023>
- Girardi, P., & Merler, E. (2019a). A mortality study on male subjects exposed to polyfluoroalkyl acids with high internal dose of perfluorooctanoic acid. *Environmental Research*, 179, 108743. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108743>
- Girardi, P., Rosina, A., Merler, E. (2018). La concentrazione di sostanze perfluorurate nel sangue dei dipendenti ed ex dipendenti delle ditte RIMAR e MITENI (Trissino, Vicenza). Servizio Epidemiologico Regionale, Azienda Zero, Padova. Servizio di Prevenzione, ULSS8, Berica, Vicenza. Direzione Prevenzione, sicurezza alimentare, veterinaria, Regione del Veneto, Venezia. Padova, 2018.
- Glüge, J., Scheringer, M., Cousins, I. T., DeWitt, J. C., Goldenman, G., Herzke, D., Lohmann, R., Ng, C. A., Trier, X., & Wang, Z. (2020b). An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Environmental Science Processes & Impacts*, 22(12), 2345–2373. <https://doi.org/10.1039/d0em00291g>

- Goodrow, S. M., Ruppel, B., Lippincott, R. L., Post, G. B., & Procopio, N. A. (2020). Investigation of levels of perfluoroalkyl substances in surface water, sediment and fish tissue in New Jersey, USA. *The Science of the Total Environment*, 729, 138839. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138839>
- Higgins, C. P., Field, J. A., Criddle, C. S., & Luthy, R. G. (2005b). Quantitative determination of perfluorochemicals in sediments and domestic sludge. *Environmental Science & Technology*, 39(11), 3946–3956. <https://doi.org/10.1021/es048245p>
- Hirke, A., Varghese, B., Varade, S., & Adela, R. (2022). Exposure to endocrine-disrupting chemicals and risk of gestational hypertension and preeclampsia: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Pollution*, 317, 120828. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120828>
- Hærvig, K. K., Petersen, K. U., Hougaard, K. S., Lindh, C., Ramlau-Hansen, C. H., Toft, G., Giwercman, A., Høyer, B. B., Flachs, E. M., Bonde, J. P., & Tøttenborg, S. S. (2022). Maternal exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and male reproductive function in young adulthood: combined exposure to seven PFAS. *Environmental Health Perspectives*, 130(10). <https://doi.org/10.1289/ehp10285>
- IPEN 2019, White Paper for the Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee (POPRC-15). Perfluorohexane Sulfonate (PFHxS)—Socio-Economic Impact, Exposure, and the Precautionary Principle).*
- Jain, P., Rajput, R. S., Kumar, S., Sharma, A., Jain, A., Bora, B. J., Sharma, P., Kumar, R., Shahid, M., Rajhi, A. A., Alsubih, M., Shah, M. A., & Bhowmik, A. (2024). Recent Advances in Graphene-Enabled Materials for Photovoltaic Applications: A Comprehensive review. *ACS Omega*. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c07994>
- Johnson, P. I., Sutton, P., Atchley, D. S., Koustas, E., Lam, J., Sen, S., Robinson, K. A., Axelrad, D. A., & Woodruff, T. J. (2014). The Navigation Guide—Evidence-Based Medicine Meets Environmental Health: Systematic Review of Human Evidence for PFOA Effects on Fetal

- Growth. *Environmental Health Perspectives*, 122(10), 1028–1039.
<https://doi.org/10.1289/ehp.1307893>
- Kannan, K., Corsolini, S., Falandysz, J., Fillmann, G., Kumar, K. S., Loganathan, B. G., Mohd, M. A., Olivero, J., Van Wouwe, N., Yang, J. H., & Aldous, K. M. (2004b). Perfluorooctanesulfonate and Related Fluorochemicals in Human Blood from Several Countries. *Environmental Science & Technology*, 38(17), 4489–4495.
<https://doi.org/10.1021/es0493446>
- Kar, S., Sepúlveda, M. S., Roy, K., & Leszczynski, J. (2017). Endocrine-disrupting activity of per- and polyfluoroalkyl substances: Exploring combined approaches of ligand and structure based modeling. *Chemosphere*, 184, 514–523. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.024>
- Kato, H., Fujii, S., Takahashi, M., Matsumoto, M., Hirata-Koizumi, M., Ono, A., & Hirose, A. (2014b). Repeated dose and reproductive/developmental toxicity of perfluorododecanoic acid in rats. *Environmental Toxicology*, 30(11), 1244–1263. <https://doi.org/10.1002/tox.21996>
- Kaur, P., Stoltzfus, J., & Yellapu, V. (2018b). Descriptive statistics. *International Journal of Academic Medicine*, 4(1), 60. https://doi.org/10.4103/ijam.ijam_7_18
- Leo, A., Hansch, C., & Elkins, D. (1971). Partition coefficients and their uses. *Chemical Reviews*, 71(6), 525–616. <https://doi.org/10.1021/cr60274a001>
- Livingston, E. H. (2004a). The mean and standard deviation: what does it all mean? *Journal of Surgical Research*, 119(2), 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2004.02.008>
- Mandal, P., Debbarma, J., & Saha, M. (2021b). A review on the emergence of graphene in photovoltaics industry. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(6), 15009–15036.
<https://doi.org/10.33263/briac116.1500915036>
- Manea, S., Salmaso, L., Lorenzoni, G., Mazzucato, M., Russo, F., Mantoan, D., Martuzzi, M., Fletcher, T., & Facchin, P. (2020). Exposure to PFAS and small for gestational age new-borns: A birth records study in Veneto Region (Italy). *Environmental Research*, 184, 109282.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109282>

- McLachlan, M. S., Holmström, K. E., Reth, M., & Berger, U. (2007c). Riverine Discharge of Perfluorinated Carboxylates from the European Continent. *Environmental Science & Technology*, 41(21), 7260–7265. <https://doi.org/10.1021/es071471p>
- Menzel, J., Abraham, K., Dietrich, S., Fromme, H., Völkel, W., Schwerdtle, T., & Weikert, C. (2021). Internal exposure to perfluoroalkyl substances (PFAS) in vegans and omnivores. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 237, 113808. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113808>
- Mikkonen, A. T., Martin, J., Upton, R. N., Moenning, J., Numata, J., Taylor, M. P., Roberts, M. S., & Mackenzie, L. (2023a). Dynamic exposure and body burden models for per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) enable management of food safety risks in cattle. *Environment International*, 180, 108218. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108218>
- Mokra, K. (2021). Endocrine Disruptor Potential of Short- and Long-Chain Perfluoroalkyl Substances (PFASs)—A Synthesis of Current Knowledge with Proposal of Molecular Mechanism. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(4), 2148. <https://doi.org/10.3390/ijms22042148>
- NTP (National Toxicology Program). 2016. Monograph on Immunotoxicity Associated with Exposure to Perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS). Research Triangle Park, NC: National Toxicology Program. https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/ohat/pfoa_pfos/pfoa_pfosmonograph_508.pdf
- OECD (2013), OECD/UNEP Global PFC Group. Synthesis paper on per- and polyfluorinated chemicals (PFCs). Environment, Health and Safety Directorate, OECD. Paris, 2013
- OECD (2018). Toward a new comprehensive global database of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs): summary report on updating the OECD 2007 list of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs). Paris, 2018

- OECD (2020), PFASs and Alternatives in Food Packaging (Paper and Paperboard) Report on the Commercial Availability and Current Uses, OECD Series on Risk Management, No. 58, Environment, Health and Safety, Environment Directorate, OECD.
- Panieri, E., Baralic, K., Djukic-Cosic, D., Djordjevic, A. B., & Saso, L. (2022). PFAS molecules: a major concern for the human health and the environment. *Toxics*, 10(2), 44. <https://doi.org/10.3390/toxics10020044>
- Pitter, G., Da Re, F., Canova, C., Barbieri, G., Jeddi, M. Z., Daprà, F., Manea, F., Zolin, R., Bettega, A. M., Stopazzolo, G., Vittorii, S., Zambelli, L., Martuzzi, M., Mantoan, D., & Russo, F. (2020b). Serum levels of perfluoroalkyl substances (PFAS) in adolescents and young adults exposed to contaminated drinking water in the Veneto region, Italy: a Cross-Sectional study based on a health surveillance program. *Environmental Health Perspectives*, 128(2). <https://doi.org/10.1289/ehp5337>
- Piva, E., Fais, P., Ioime, P., Forcato, M., Viel, G., Cecchetto, G., & Pascali, J. P. (2023a). Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) presence in food: Comparison among fresh, frozen and ready-to-eat vegetables. *Food Chemistry*, 410, 135415. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135415>
- Place, B. J., & Field, J. A. (2012a). Identification of novel fluorochemicals in aqueous Film-Forming foams used by the US military. *Environmental Science & Technology*, 46(13), 7120–7127. <https://doi.org/10.1021/es301465n>
- Prevedouros, K., Cousins, I. T., Buck, R. C., & Korzeniowski, S. H. (2005). Sources, Fate and transport of perfluorocarboxylates. *Environmental Science & Technology*, 40(1), 32–44. <https://doi.org/10.1021/es0512475>
- Post, G. B., Cohn, P. D., & Cooper, K. R. (2012). Perfluorooctanoic acid (PFOA), an emerging drinking water contaminant: A critical review of recent literature. *Environmental Research*, 116, 93–117. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2012.03.007>
- Potter, K. (2006). *Methods for Presenting Statistical Information: The Box Plot*, University of Utah School of Computing Salt Lake City, UT.

- Rodgers, K. M., Swartz, C. H., Occhialini, J., Bassignani, P., McCurdy, M., & Schaider, L. A. (2022). How well do product labels indicate the presence of PFAS in consumer items used by children and adolescents? *Environmental Science & Technology*, 56(10), 6294–6304. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c05175>
- Sonne, C., Bank, M. S., Jenssen, B. M., Ciesielski, T. M., Rinklebe, J., Lam, S. S., Hansen, M., Bossi, R., Gustavson, K., & Dietz, R. (2023). PFAS pollution threatens ecosystems worldwide. *Science*, 379(6635), 887–888. <https://doi.org/10.1126/science.adh0934>
- Stahl, T., Heyn, J., Thiele, H., Hüther, J., Failing, K., Georgii, S., & Brunn, H. (2008). Carryover of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) from Soil to Plants. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 57(2), 289–298. <https://doi.org/10.1007/s00244-008-9272-9>
- Steenland, K., Fletcher, T., Stein, C. R., Bartell, S. M., Darrow, L., Lopez-Espinosa, M., Ryan, P. B., & Savitz, D. A. (2020). Review: Evolution of evidence on PFOA and health following the assessments of the C8 Science Panel. *Environment International*, 145, 106125. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106125>
- Steenland, K., Kugathasan, S., & Barr, D. B. (2018). PFOA and ulcerative colitis. *Environmental Research*, 165, 317–321. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.05.007>
- Steenland, K., & Winqvist, A. (2020). PFAS and cancer, a scoping review of the epidemiologic evidence. *Environmental Research*, 194, 110690. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110690>
- Sunderland, E. M., Hu, X. C., Dassuncao, C., Tokranov, A. K., Wagner, C. C., & Allen, J. G. (2018). A review of the pathways of human exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) and present understanding of health effects. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 29(2), 131–147. <https://doi.org/10.1038/s41370-018-0094-1>
- Torres, F. G., & De-La-Torre, G. E. (2022). Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in

- consumable species and food products. *Journal of Food Science and Technology*, 60(9), 2319–2336. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05545-7>
- Valsecchi, S., Rusconi, M., Mazzoni, M., Viviano, G., Pagnotta, R., Zaghi, C., Serrini, G., & Polesello, S. (2014). Occurrence and sources of perfluoroalkyl acids in Italian river basins. *Chemosphere*, 129, 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.07.044>
- Weikert, C., Trefflich, I., Menzel, J., Obeid, R., Longree, A., Dierkes, J., Meyer, K., Herter-Aeberli, I., Mai, K., Stangl, G. I., Müller, S. M., Schwerdtle, T., Lampen, A., & Abraham, K. (2020). Vitamin and mineral status in a vegan diet. *Deutsches Ärzteblatt International*. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2020.0575>
- Wood (2020): The use of PFAS and fluorine-free alternatives in fire-fighting foams. Final report, Specific contracts No 07.0203/2018/791749/ENV.B.2 and ECHA/2018/561. Wood Environment & Infrastructure Solutions UK Limited, Report produced for European Commission DG Environment / European Chemicals Agency (ECHA). https://echa.europa.eu/documents/10162/28801697/pfas_flourinefree_alternatives_fire_fighting_en.pdf/d5b24e2a-d027-0168-cdd8-f723c675fa98 (last accessed 23.02.2023)
- Xie, X., Weng, X., Liu, S., Chen, J., Guo, X., Gao, X., Fei, Q., Hao, G., Jing, C., & Feng, L. (2021). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substance exposure and association with sex hormone concentrations: results from the NHANES 2015–2016. *Environmental Sciences Europe*, 33(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00508-9>
- Xu, Y., Li, Y., Scott, K., Lindh, C. H., Jakobsson, K., Fletcher, T., Ohlsson, B., & Andersson, E. M. (2019). Inflammatory bowel disease and biomarkers of gut inflammation and permeability in a community with high exposure to perfluoroalkyl substances through drinking water. *Environmental Research*, 181, 108923. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108923>
- Zahm, S., Bonde, J. P., Chiu, W. A., Hoppin, J., Kanno, J., Abdallah, M., Blystone, C. R., Calkins, M. M., Dong, G., Dorman, D. C., Fry, R., Guo, H., Haug, L. S., Hofmann, J. N., Iwasaki, M., Machala, M., Mancini, F. R., Maria-Engler, S. S., Møller, P., . . . Schubauer-Berigan, M. K.

(2023). Carcinogenicity of perfluorooctanoic acid and perfluorooctanesulfonic acid. *The Lancet Oncology*, 25(1), 16–17. [https://doi.org/10.1016/s1470-2045\(23\)00622-8](https://doi.org/10.1016/s1470-2045(23)00622-8)

Zirone Walter, (2020). Le sostanze perfluoroalchiliche (PFAS): analisi di una problematica di non facile risoluzione dal punto di vista della salute e delle tecniche di bonifica ambientale.

ALLEGATO I:

Si riportano due serie di tabelle per le concentrazioni di PFOA e PFOS nelle acque del Veneto. La prima serie presenta le medie delle concentrazioni (ng/l) di entrambe le sostanze rilevate nelle diverse tipologie di acque (superficiali, sotterranee e sorgenti/risorgive) nei comuni campionati, a partire dal database originale fornito da ARPAV: “*Concentrazione di sostanze perfluoroalchiliche (PFAS) nelle acque prelevate da ARPAV*”. La seconda serie di tabelle fornisce una descrizione statistica dettagliata per ciascuna tipologia di acqua e per ciascun composto, includendo indici descrittivi. Questi dati statistici permettono una visione più approfondita della variabilità e della distribuzione delle concentrazioni di PFOA e PFOS, fornendo un quadro completo della contaminazione nei vari comuni della regione.

Concentrazione media di PFOA (ng/l)	Codici Zona	AULSS	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
ADRIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA		19	38,25	6			3,33333
AGNA	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
AGUGLIARO	ARB*	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA			10	18	9	14,5	21
ALANO DI PIAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
ALBETTONI	AGA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA				35,3333	16,5	32,5	43,6667
ALLEGHE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
ALPAGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
ALTAVILLA VICENTINA	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	30,5	336	100,25	100,5	67	123	108
ANGUILLARA VENETA	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA				50,5	67	36,25	519,25
ARCOLE	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA			8			5,5	4
ARCUGNANO	AGA*	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
ARIANO NEL POLESINE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA			5,5	7	11	6,5	6
ARRE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA			6	21,5		15,5	12
ARSIE'	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
ARZIGNANO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
ASIGLIANO VENETO	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA				197,75	201,125	157,429	282,5
AURONZO DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
BADIA POLESINE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA			15				
BAGNOLI DI SOPRA	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA			8				
BARBARANO MOSSANO	AGA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
BARDOLINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
BASSANO DEL GRAPPA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
BATTAGLIA TERME	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	30,5	27,4444	15,5	16,4286	13,6	21,9	34,75
BELFIORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
BELLUNO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
BEVILACQUA	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	92	55,75	24	33	35,75	27,75	47
BOLZANO VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
BOSARO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							4
BOVOLENTA	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	22	16,75	15,75	14,5	10,75	18,25	23,5
BRENDOLA	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	61	42,3333	86,4				38
BRENTINO BELLUNO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							3
BRENZONE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
BRESSANVIDO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
BROGLIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
BUTTAPIETRA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
CADONEGHE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CALDIERO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							

CALDOGNO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA		7,5	11	11			2,75
CAMISANO VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
CAMPAGNA LUPIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA	16		10,25	10,0769	8	14,0833	14,538
CAMPIGLIA DEI BERICI	AGA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA			488	15	18	15,25	38,3333
CAMPO SAN MARTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CAMPODARSEGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							3
CAMPOLONGO MAGGIORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA		12	11,3333	7,5	6,25	9	
CAMPOLONGO SUL BRENTA	CONTR.								
CANARO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA	7,5	6	5	6	5	6	
CAORLE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE						14	
CARMIGNANO DI BRENTA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CASALE SUL SILE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
CASALEONE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							3
CASTELGOMBERTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA				5	6,25	5,5	
CASTELLO DI GODEGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
CASTELMASSA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA	6		5,33333	6,8		7	5
CASTELNOVO BARIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							
CAVALLINO - TREPORTI	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE							
CAVARZERE	AGA	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA	27	50,0833	42,9167	42,9231	37,8667	37,7692	62,6667
CEREA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
CESSALTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
CHIOGGIA	AVA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	42,75	31,6667	41,8333	25	28,7407	35,3679	47,9286
CINTO EUGANO	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA		28	15				
CISMON DEL GRAPPA	CONTR.								
CITTADELLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CODEVIGO	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA			11,6667	13	10	11,6429	72,375
COLCERESA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
COLOGNA VENETA	ARA	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	299,846	289,34	262,019	238,88	227,981	253,857	303,838
CONA	AGA	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA				27	14,75	36,75	35
CONCORDIA SAGITTARIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE							
CONEGLIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA			7				
CONSELVE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA			10,5	11,6667			
CORBOLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA	6	7,5	6	6,57143	5,5	6,75	4,5
CORDIGNANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
CORNEDO VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
CORREZZOLA	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	40	21,5455	15,6667	18	11,4167	15,2727	16,9091
COSTA DI ROVIGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							
CREAZZO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA		531,083	450,25				
CRESPADORO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							

DUEVILLE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							9	
ERACLEA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE								
ESTE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	41	59,6667	39,5	60,5	66,5	49,5	39,75	
FARRA D'ALPAGO	CONTR.									
FELTRE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
FONTANELLE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA					6			
FONTANIVA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
FONZASO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
FOSSALTA DI PIAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE						7		
FOSSALTA DI PORTOGRUARO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE								
FOSSO'	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA						11,125	9,5	
FRATTA POLESINE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA								
GAJARINE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
GARDA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
GAZZO VERONESE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							2	
GIACCIANO CON BARUCHELLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							3	
GORGIO AL MONTICANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
GRANCONA	CONTR.									
GRANTORTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
GRUMOLO DELLE ABBADESSE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA								
ISOLA RIZZA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							3	
JESOLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE								
LEGNAGO	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA		5		50			4,8	
LENTIAI	CONTR.									
LIMANA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
LONGARE	AGA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	144	67,9167	47,25	40	27,2857	60,375	65,375	
LONGARONE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
LONIGO	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	758,667	355,4	474,8	470,5	434,583	717,25	407,24	
LOREGGIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							3	
LOREO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA								
LOZZO ATESTINO	AGA*	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA				81,875	69,2429	48,625	44,625	
MALO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA					7			
MARENO DI PIAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
MASERADA SUL PIAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
MASI	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
MASSANZAGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							2,5	
MEGLIADINO SAN VITALE	ARB*	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	10	78,6667	60,5	112	64	68,3333	42,25	
MELARA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA								

MESTRINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
MIRA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA	12		7,66667	7,6	6	10,1818	8,875	
MIRANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA						9	3	
MONSELICE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA					22,3333	25	34	
MONTAGNANA	ARA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
MONTE DI MALO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA								
MONTECCHIA DI CROSARA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
MONTECCHIO MAGGIORE	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							49	
MONTEFORTE D'ALPONE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
MONTEGALDA	AVA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA								
MONTORSO VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA					12,3333	18,5	22,6667	
MORGANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
MOTTA DI LIVENZA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA					9			
NANTO	AGA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	129,5	50,4167	40,3333	34,25				
NOGAROLE ROCCA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							3	
NOVENTA PADOVANA	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	24	18,75	16,6667	14,5	14,75	14,6	14,8	
NOVENTA VICENTINA	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA				182,5	212	117,5	272,75	
OCCHIOBELLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA								
OPPEANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							5	2
PADOVA	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA			13,25	18,3333	12,3333	10	21,7143	
PAESE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
PERAROLO DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
PERNUMIA	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA			12,25	14,75	12	20,75	23,125	
PESCANTINA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
PESCHIERA DEL GARDA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	13	5,5		5		5,5	5	
PIACENZA D'ADIGE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
PIAZZOLA SUL BRENTA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA				5				
PIEVE DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
PIOMBINO DESE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
POIANA MAGGIORE	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	178	112,9	115,333	136,667	113,333	77,3333	121	
POLESILLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							5	
PONTE NELLE ALPI	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
PONTE SAN NICOLO'	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	19	27	16,5	15,6667	11	12,75	16	
PONTELONGO	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA				12,7273	20			
PORTO TOLLE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA			5,33333	7	6,16667	6,125	3,5	
PORTO VIRO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA								
PORTOGRUARO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE								
POZZONOVO	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	47	32,25	18,5	14	14	20,75	27,5	
QUARTO D'ALTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA								
REFRANTOLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
RESANA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
REVINE LAGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
RONCA'	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
RONCADE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
ROSOLINA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA								
ROVEREDO DI GUA'	ARA	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	33,3333	79,4545	119,75	108,75	99	112,333	166,667	
ROVIGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA								
ROVOLON	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA				8,25	12,25	6,66667	15,6667	
SACCOLONGO	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	67	45	40,25	33,25	13,5	26,25	43,75	
SALARA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA			5				4,5	
SALETO	CONTR.									
SAN BIAGIO DI CALLALTA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
SAN BONIFACIO	AAR	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA		9					28	
SAN GERMANO DEI BERICI	CONTR.									
SAN GIORGIO IN BOSCO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
SAN GIOVANNI ILARIONE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA				45,5		11,3333	57,5	
SAN MARTINO BUON ALBERGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							2	
SAN MARTINO DI VENEZZE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA								
SAN MICHELE AL TAGLIAMENTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE								
SAN VITO DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
SANDRIGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA								
SANTORSO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA								
SANT'URBANO	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	32	71,25	60,25	45,9167	37,4167	42,6667	45,5	
SAREGO	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	298	213,214	195	253,25	208	263,8	243,75	
SCHIO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA		6		12				
SEDICO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
SILEA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
SONA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							2	
SORGÀ	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
SOSPIROLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
SOSSANO	AGA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA				9	6,5	11,5	9,8	
SOVERZENE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								

SOVIZZO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	19	19		35	32	29	40,3
STANGHELLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	43,25	49,5455	27,5	48,5	32,4286	40,3333	41,25
STRA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA				15		8,66667	9,5
SUSEGANA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
TAGLIO DI PO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA	6	6,33333	6,75	6,66667	5,5	7,875	7,25
TARZO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
TEGLIO VENETO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE							
TERRAZZO	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA			21	16,5	13,75	14	19,3333
TEZZE SUL BRENTA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA		14					
TOMBOLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA						6,5	2
TORRE DI MOSTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE							
TORREBELVICINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
TORRI DEL BENACO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
TORRI DI QUARTESOLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA				11	18,5		
TREVISO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
TRIBANO	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	38,5	32	18	13,75	10,25	21,75	32
TRISSINO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	33	14	26	20	15,4	13	667,75
URBANA	ARB	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA		217					
VAL LIONA	AGA*	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							3,5
VALEGGIO SUL MINCIO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
VAZZOLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
VEDELAGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
VEGGIANO	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA			11				
VENEZIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA			6,83333	8,33333	7	10,4	7,6
VERONA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA						6	6,61
VESCOVANA	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA		48	73,25	106,5	22,5	256	5,5
VESTENANOVA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							18,5
VICENZA	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	495,5	369,083	182,7	116,95	128,821	129,111	167,697
VIGASIO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							2
VIGONZA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA						8	2,5
VILLADOSE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							
VILLAGA	AGA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA				27,6667	14,5	43,6667	22
VILLANOVA MARCHESANA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA	6	7,5	5,6	6,5		6	6
VILLAVERLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA		17,25	9,66667	27	5		3
VILLORBA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
VO'	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA				14	21	25,25	20,6667
ZEVIO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
ZIMELLA	ARA	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	196	270,75	364,625	303,417	272,733	317,769	285,5
ZUGLIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							

Figura 25 Concentrazione media di PFOA nei comuni del Veneto per le acque superficiali nel periodo di analisi 2017-2023 (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

Concentrazione media di PFOS (ng/l)	Codici Zona	AULSS	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
ADRIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA			2,364	1,72857	1,195	0,96167	1,168181818
AGNA	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
AGUGLIARO	ARB*	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA				3,4025	2,2175	2,1125	2,1125
ALANO DI PIAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
ALBETTONI	AGA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA				3,8275	4,01	8,1225	6,363333333
ALLEGHE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
ALPAGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
ALTAVILLA VICENTINA	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	112	66	17,1375	17,7075	16,6475	24,38	18,19
ANGUILLARA VENETA	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA		0,395	0,24	3,49167	1,6525	1,88375	1,253
ARCOLE	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA			1,1			1,77333	2,575
ARCUGNANO	AGA*	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA					0,22		
ARIANO NEL POLESINE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA			1,77333	2,815	2,7875	2,8025	1,876666667
ARRE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA			2,2	2,08333	1,96	3,4375	1,7
ARSIE'	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
ARZIGNANO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
ASIGLIANO VENETO	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA				8,16875	7,51375	4,51375	7,14625
AURONZO DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							0,25
BADIA POLESINE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA			0,95			0,25	0,255
BAGNOLI DI SOPRA	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA			3,09				
BARBARANO MOSSANO	AGA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
BARDOLINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA						0,25	
BASSANO DEL GRAPPA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
BATTAGLIA TERME	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	5,5	9,013333	6,5575	4,44875	3,568	3,05167	4,8975
BELFIORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
BELLUNO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
BEVILACQUA	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA		6,915	3,595	2,57	3,8625	4,105	3,52
BOLZANO VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA		3,44	1,5575	2,05	1,6325	1,1025	1,785
BOSARO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA			1,27333				1,5475
BOVOLENTA	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA		4,8625	5,4425	2,76	3,5825	3,1225	4,1
BRENDOLA	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	16	20,17667	19,6				12,99
BRENTINO BELLUNO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							0,416666667
BRENZONE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA					0,33	0,22	0,39
BRESSANVIDO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA		15,66333	7,3975	3,6825	2,36	1,825	2,073333333
BROGLIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
BUTTAPIETRA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
CADONEGHE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA						0,41	0,65
CALDIERO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
CALDOGNO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA		4,045	7,3975	1,35333	1,093333333	2,33	4,572222222
CAMISANO VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							0,765
CAMPAGNA LUPIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA			2,95682	2,08913	1,75285714	2,11778	3,11804878
CAMPIGLIA DEI BERICI	AGA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA				0,485	1,235	0,87	1,003333333
CAMPO SAN MARTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA				0,67667	0,545	0,985	1,06
CAMPODARSEGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							2,67
CAMPOLONGO MAGGIORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA		2,714545	3,57818	1,50727	1,44916667	3,41	
CAMPOLONGO SUL BRENTA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
CANARO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA		2,585	2,23	1,80667	2,015	2,05333	
CAORLE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE			0,3	0,57833	0,970833333	0,96727	0,419090909
CARMIGNANO DI BRENTA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA			0,2				
CASALE SUL SILE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA		0,57					
CASALEONE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							1,6975
CASTELGOMBERTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA					3,923333333		
CASTELLO DI GODEGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							0,73
CASTELMASSA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA			5,68267	2,47533	2,3925	2,4525	2,67
CASTELNOVO BARIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA			0,3				
CAVALLINO - TREPORI	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE			0,17	0,315	0,395	0,26333	0,186666667
CAVARZERE	AGA	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA		4,91	3,65417	2,78188	2,898666667	1,9495	2,371052632
CEREA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							1,8
CESSALTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA						1,535	
CHIOGGIA	AVA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA		2,810833	1,61526	1,77261	2,2228125	2,137	2,114888889
CINTO EUGANO	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA		5,283333	5,12				
CISON DEL GRAPPA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
CITTADELLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA			0,625				
CODEVIGO	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA			3,1775	3,04	3,80375	2,26	2,664736842
COLCERESA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
COLOGNA VENETA	ARA	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	32,533333	23,32432	21,8933	26,937	23,1514706	26,2994	22,30043478
CONA	AGA	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA				1,925	2,32	3,3125	2,5325
CONCORDIA SAGITTARIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE							
CONEGLIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA			1,295				
CONSELVE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA			2,375	2,7625			
CORBOLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA	5	2,862727	1,78077	2,11071	2,395	2,58	2,344545455
CORDIGNANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							

CORNEDO VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA					0,41			
CORREZZOLA	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	6,798182	5,13	7,83	3,91923077	3,75	3,277272727		
COSTA DI ROVIGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA		0,265						
CREAZZO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	134,5833	122						
CRESPADORO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA								
DUEVILLE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA			2,28		2,69333	1,75		
ERACLEA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE					1,06	1,61		
ESTE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	5,825	2,125	3,3425	2,855	4,92	2,1875		
FARRA D'ALPAGO	CONTR.									
FELTRE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
FONTANELLE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA	1,416667	0,365	0,7	0,8075	0,6375	0,505		
FONTANIVA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA					0,6375	0,505		
FONZASO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
FOSSALTA DI PIAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE	0,666667	0,34	0,22	0,26666667	0,21	0,53		
FOSSALTA DI PORTOGRUARO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE					0,23			
FOSSO'	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA					2,46	1,864545455		
FRATTA POLESINE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA		0,485				0,263333333		
GAIARINE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA		1,15667	1,11	1,4975	0,835	0,6425		
GARDA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA		0,22				0,26		
GAZZO VERONESE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA					1,7775	1,3325		
GIACCIANO CON BARUCHELLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA		0,77667			1,3125	1,408571429		
GORGO AL MONTICANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
GRANCONA	CONTR.									
GRANTORTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA		0,3						
GRUMOLO DELLE ABBADESSE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA		1,055				2,7525		
ISOLA RIZZA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA				1,1725	1,4725	1,5725		
JESOLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE	1,022727	0,77417	0,568	0,845625	0,79357	0,786428571		
LEGNAGO	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA						1,644285714		
LENTIAI	CONTR.									
LIMANA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
LONGARE	AGA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	27,5	16,0025	13,755	13,4075	7,44571429	13,77	9,34	
LONGARONE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
LONIGO	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	192,6	57,878	80,2	32,9	73,4116667	127,673	41,29	
LOREGGIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA						3,07167	2,89	
LOREO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA		0,3						
LOZZO ATESTINO	AGA*	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA			2,97375	3,00375	2,1625	1,6925		
MALO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA								
MARENO DI PIAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA		0,29	0,28	0,46	0,21	0,79		
MASERADA SUL PIAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
MASI	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
MASSANZAGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA					2,6575	3,1725		
MEGLIADINO SAN VITALE	ARB*	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	1,9675	1,4725	1,54333	1,2575	1,1225	0,93		
MELARA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA		2,465						
MERLARA	AGA*	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA			2,92	5,04	3,715	3,96		
MESTRINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
MIRA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA		1,74	1,9075	1,93125	2,53059	2,851578947		
MIRANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA					1,775	1,8325		
MONSELICE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA				1,73	3,37	3,065		
MONTAGNANA	ARA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
MONTE DI MALO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA								
MONTECCHIA DI CROSARA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
MONTECCHIO MAGGIORE	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA						8,55		
MONTEFORTE D'ALPONE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
MONTEGALDA	AVA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA								
MONTORSO VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA					2,72333333	3,2625	2,033333333	
MORGANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA		0,66						
MOTTA DI LIVENZA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA		2,77333	1,3775	1,34	1,9375	1,765		
NANTO	AGA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	22,5	15,6225	8,37	10,7575	1,13			
NOGAROLE ROCCA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA			0,8325	1,0025	1,5325	0,7075		
NOVENTA PADOVANA	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	4,2425	4,05333	3,0425	5,06	3	2,532857143		
NOVENTA VICENTINA	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA			6,0225	8,0125	4,97	6,285		
OCCHIOBELLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA		2,32						
OPPEANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA			3,0075	1,9925	2,535	4,036666667		
PADOVA	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA		3,615	3,0525	5,27	2,65	4,698571429		
PAESE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA			0,846					
PERAROLO DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
PERNUMIA	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA		1,5875	1,73	2,62375	3,8	2,93875		
PESCANTINA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA					0,19			
PESCHIERA DEL GARDA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA		1,5825	0,825	1,21916667	0,87667	1,208888889		
PIACENZA D'ADIGE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA						0,626666667		
PIAZZOLA SUL BRENTA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA			0,65	0,605	0,49333	0,5		
PIEVE DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI						0,22		

PIOMBINO DESE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							0,76111	0,57375
POIANA MAGGIORE	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA		5,355	4,85	4,30333		2,88	1,82667	2,8025
POLESILLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA								2,0875
PONTE NELLE ALPI	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
PONTE SAN NICOLO'	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	6	8,02667	5,3775	2,9175	3,4425	3,1225		3,66
PONTELONGO	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA				4,07182	4,91			
PORTO TOLLE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA			2,32375	1,57444	1,731111111	1,70257		1,1775
PORTO VIRO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA		1,19	0,92167	1,05154	0,94166667	0,83917		0,879
PORTOGRUARO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE								
POZZONOVO	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	15	4,0775	3,9	2,48667	3,7175	5,2975		3,7425
QUARTO D'ALTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA		0,95	0,50375	0,32286	0,53090909	0,47733		0,891818182
REFRANTOLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
RESANA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
REVINE LAGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA					0,26666667	0,21		0,19
RONCA'	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								4,11
RONCADE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA				0,9	1,145	0,90875		1,135
ROSOLINA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA			0,7	0,51261	0,65875	0,42802		0,365833333
ROVEREDO DI GUA'	ARA	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA		9,01	14,7675	9,3225	9,9675	9,65667		9,573333333
ROVIGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA			0,5175	0,96333	1,06	0,77429		0,565
ROVOLON	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA				1,20429	1,4875	1,26		1,58375
SACCOLONGO	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	17,5	9,9	11,6025	7,9075	4,755	6,475		6,21
SALARA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA			1,62					2,625
SALETTO	CONTR.									
SAN BIAGIO DI CALLALTA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA						0,38		0,28
SAN BONIFACIO	AAR	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA		7,89						13,68
SAN GERMANO DEI BERICI	CONTR.									
SAN GIORGIO IN BOSCO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA				0,69	1,0225	1,03333		1,5
SAN GIOVANNI ILARIONE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA				11,5825	13,7225	39,83		15,774
SAN MARTINO BUON ALBERGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA		1,9	1,46025					1,92
SAN MARTINO DI VENEZZE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA								
SAN MICHELE AL TAGLIAMENTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE								
SAN VITO DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
SANDRIGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA				1,5775	1,0225			0,7
SANTORSO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA				0,33		0,21		0,465
SANT'URBANO	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA		5,18	2,16	2,21786	2,93875	4,21375		2,7975
SAREGO	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	25	20,4875	15,96	12,6	13,1	16,735		10,374
SCHIO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA			0,2	18,5				
SEDICO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
SILEA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA				0,97	1,05	0,85333		1,163333333
SONA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA						1,29		1,354166667
SORGÀ	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								0,97
SOSPIROLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
SOSSANO	AGA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA				0,86714	0,83142857	1,20375		1,281428571
SOVERZENE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
SOVIZZO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA		2,6	0,9	1,3675	1,01416667	1,51833		1,479166667
STANGHELLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	4	5,63	3,4425	2,68571429	4,04667			2,3225
STRA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA				1,39	0,69666667	1,9925		1,4225
SUSEGANA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
TAGLIO DI PO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA		2,33	1,93214	2,27538	2,603333333	2,96583		2,278666667
TARZO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA					0,35666667	0,65		
TEGLIO VENETO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE								0,22
TERRAZZO	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA			1,035	0,9775	1,295	1,28333		1,1975
TEZZE SUL BRENTA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA		0,5	1,31					0,5
TOMBOLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA					1,7975	2,2075		1,7
TORRE DI MOSTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE		2,76	1,90429	1,2275	1,4175	1,755		2,1
TORREBELVICINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA								
TORRI DEL BENACO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA						0,33		
TORRI DI QUARTESOLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA				8,0625	7,8075	9,9425		11,175
TREVISO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA		1,7875	1,52333	1,3775	1,39285714	1,40875		1,29
TRIBANO	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	5	5,0025	4,9925	2,9425	2,7525	3,9775		4,2475
TRISSINO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	11	2,985	5,455	1,7175	1,343333333	2,1		13,85
URBANA	ARB	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA		25						
VAL LIONA	AGA*	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA								0,316666667
VALEGGIO SUL MINCIO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
VAZZOLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA		0,616667	0,57333	0,4025	0,58	0,52333		0,405
VEDELAGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								0,22
VEGGIANO	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA		4,9175	3,838	5,685	4,6825	4,3575		3,89875
VENEZIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA		1,150833	0,86178	0,99811	1,45232877	0,88802		1,210326797
VERONA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA						4,814		5,526666667
VESCOVANA	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA		1,486667	9,68	4,9675	1,3025	2,598		0,803333333
VESTENANOVA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								136,25
VICENZA	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	112,25	58,72375	45,145	14,4474	17,17825	21,4249		14,9205
VIGASIO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA				2,48	2,2275	1,8225		2,20875
VIGONZA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA					2,435	2,62		2,845
VILLADOSE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA								1,05
VILLAGA	AGA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA				10,7233	2,9275	6,14		4,26
VILLANOVA MARCHESANA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA		2,7	1,70833	1,964	1,9875	2,8775		2,12
VILLAVERLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA		4,5725	1,5025	1,425	1,7675	2		3,163333333
VILLORBA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
VO'	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA				2,3275	5,82	5,86		2,6725
VEVIO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA				0,935	1,3			
ZIMELLA	ARA	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	5	22,50667	35,815	15,4642	20,12875	15,1825		13,855
ZUGLIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA								

Figura 26 Concentrazione media di PFOS nei comuni del Veneto per le acque superficiali nel periodo di analisi 2017-2023 (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

Concentrazione media di PFOA (ng/l)	Codici Zone	AULSS	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
ABANO TERME	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA			5,00			14,00	17,00
ADRIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA	31,00		22,33	11,00			
AGNA	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
AGUGLIARO	ARB*	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
ALBAREDO D'ADIGE	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
ALONTE	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	66,29						136,40
ALTAVILLA VICENTINA	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	176,71	347,00	261,63	257,38	317,33	249,33	162,17
ALTIVOLE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
ARCADE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							2,00
ARCOLE	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
ARZIGNANO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	178,22	134,09	90,23	92,15	30,42	31,81	131,45
ASIGLIANO VENETO	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
ASOLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							2,00
AURONZO DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
BADIA POLESINE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							
BAGNOLO DI PO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							
BAONE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
BARBARANO MOSSANO	AGA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
BARBONA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
BASSANO DEL GRAPPA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA	63,00	171,33	9,00	6,00	62,67	80,00	14,00
BATTAGLIA TERME	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
BELFIORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
BELLUNO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
BERGANTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							
BEVILACQUA	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
BOARA PISANI	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							
BONAVIGO	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
BORGO VALBELLUNA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
BORGO VENETO	ARB	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	445,00						
BOVOLONE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
BREDA DI PIAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
BREGANZE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
BRENDOLA	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	256,73	271,50	201,20	200,73	151,25	167,09	188,32
BRENTINO BELLUNO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
BRESSANVIDO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
BUSSOLENGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							19,00
BUTTAPIETRA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
CADONEGHE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CAERANO DI SAN MARCO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
CALDOGNO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	13,17	17,63	16,40	10,93	8,50	5,00	5,00
CAMISANO VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
CAMPO SAN MARTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CAMPODARSEGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CAMPODORO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CANDA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							
CAORLE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE							
CAPPELLA MAGGIORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
CAPRINO VERONESE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	14,00	6,33	49,50	23,00	6,00	8,50	6,00
CARMIGNANO DI BRENTA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CARTIGLIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA	5,00						
CASALE DI SCODOSIA	AGA*	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CASALE SUL SILE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA	86,00	171,00	207,00	207,00	249,50	117,50	309,00
CASSOLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA			5,00	11,00	8,00		7,00
CASTELBALDO	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CASTELCUCCO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
CASTELFRANCO VENETO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA	8,00	5,00					5,50
CASTELGOMBERTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA		22,60	6,00	152,00	12,64	15,75	9,00
CASTELMASSA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA			22,50				
CASTELNOVO BARIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							
CASTELNUOVO DEL GARDA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA		41,25				159,00	
CAVARZERE	AGA	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA							

CAVARZERE	AGA	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA									
CENCENIGHE AGORDINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI									
CERA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA									
CERVARESE SANTA CROCE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA									
CESSALTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA									3,00
CHIAMPO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA			13,00			7,00			
CHIOGGIA	AVA	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA									
CHIUPPANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA									
CINTO EUGANEO	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA									
CITADELLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA									
CODEVIGO	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA									
CODOGNE'	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA		6,00							
COLCERESA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA									
COLOGNA VENETA	ARA	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	2780,33	3222,80	2660,40	3838,25	4004,00	3771,00	2776,00		
CONA	AGA	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA									
CONCORDIA SAGITTARIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE									
CONEGLIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA				15,33					
CONSELVE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA									
CORDIGNANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA									
CORNEDO VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA			6,00	11,00	9,17	5,00	5,00		
CORNUDA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA									
CORTINA D'AMPEZZO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI									
COSTABISSARA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA									
CREAZZO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	2782,71	2417,33	2538,57	2046,83	3301,00	3063,67	2748,00		
DANTA DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI									
DUE CARRARE	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	18,50	7,75		6,00					
DUEVILLE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA									17,00
ERACLEA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE									
ESTE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	129,67	60,33	124,71	133,50	186,75	126,00	114,80		
FALCADE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI									
FARA VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA		18,50							
FARRA DI SOLIGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA	128,00	116,00	101,00	117,50	97,50	50,50	154,00		
FELTRE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI									
FIESSO UMBERTIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA									
FOLLINA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA									
FONTANELLE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA									
FONTANIVA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA									
FOSSALTA DI PORTOGRUARO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE							6,00		
GAIARINE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA									
GALLIO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA									
GALZIGNANO TERME	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA									
GAMBELLARA	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA									
GAZZO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA									
GIACCIANO CON BARUCHELLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA					14,00	19,00	18,00		
GIAVERA DEL MONTELLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA									
GODEGA DI SANT'URBANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA									
GRANCONA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA									
GRANTORTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA									
GRUARO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE									
GRUMOLO DELLE ABBADESSE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA		10,86			10,00		11,60		
ILLASI	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA									
ISOLA DELLA SCALA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA									50,40
ISOLA VICENTINA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA			9,20		13,00	11,25	6,83		
ISTRANA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA		32,33	156,33		28,67		3,60		
JESOLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE	34,00		44,00	30,00		38,00			
LAVAGNO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA									
LEGNAGO	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	14,82	28,40	23,81	190,47	34,95	21,84	99,37		
LENDINARA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA									
LIMENA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA									
LONGARONE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI									
LONIGO	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	1548,49	1448,00	1578,62	1662,02	1632,01	1582,18	1593,90		

LORIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA		10,00	12,00	6,00	11,00	8,00	12,00
LOZZO ATESTINO	AGA*	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
LUGO VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
MALCESINE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
MALO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA	11,00	13,25		9,00	6,80		6,80
MARANO VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA	6,67	7,95	6,00	6,85	5,00		6,29
MARENO DI PIAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
MAROSTICA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
MARTELLAGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA		6,00					
MASER	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
MASERA' DI PADOVA	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
MASERADA SUL PIAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
MASI	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
MASON VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
MEGLIADINO SAN FIDENZIO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
MEL	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
MEOLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE							
MERLARA	AGA*	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
MESTRINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
MINERBE	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
MIRA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA							
MIRANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA		197,50	131,00	252,50	23,00	68,00	73,00
MOGLIANO VENETO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
MONSELICE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	14,00	11,00	10,00	14,00			6,50
MONTAGNANA	ARA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	376,00	255,50	397,00	542,50	547,50	765,50	477,67
MONTEBELLO VICENTINO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	142,00	114,75	113,50	64,45	64,21	75,10	91,13
MONTEBELLUNA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA				16,00			28,00
MONTECCHIA DI CROSARA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA		7,00					
MONTECCHIO MAGGIORE	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	704,93	448,78	252,30	294,05	192,40	266,06	259,15
MONTECCHIO PRECALCINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							2,00
MONTEGROTTO TERME	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
MONTICELLO CONTE OTTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA		12,00					
MONTORSO VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	77,00	41,00	52,00	31,00		95,50	55,00
MORGANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
MORIAGO DELLA BATTAGLIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							5,00
MOZZECANE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
NEGRAR	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							4,00
NERVEA DELLA BATTAGLIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
NOALE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA							
NOVENTA VICENTINA	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	475,22	570,58	573,83	489,64	706,31	374,00	427,13
OCCHIOBELLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							
ODERZO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
ORGIANO	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	35,33	45,00	49,00	39,50	42,00	36,50	44,50
ORMELLE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
OSPEDALETTO EUGANEO	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA			178,00	200,75	155,00	148,25	182,75
PADOVA	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA				30,00		54,75	
PAESE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA	42,00	32,00	50,33	40,33	39,50	43,50	22,00
PASTRENGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
PERAROLO DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
PERNUMIA	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							254,50
PESCANTINA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	151,40	202,22	199,08	690,94	644,38	167,71	100,97
PESCHIERA DEL GARDA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
PIACENZA D'ADIGE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
PIAZZOLA SUL BRENTA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
PIEVE DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
PIOMBINO DESE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
POIANA MAGGIORE	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	31,00						
POSELLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA	20,00	15,00	16,00	22,00	27,00	18,00	24,00
PONSO	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
PONTE DI PIAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							

PONTE NELLE ALPI	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
PONTE SAN NICOLO'	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
PONZANO VENETO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								3,00
PORTO TOLLE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA						141,00		
PORTOGRUARO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE		14,00						
POVE DEL GRAPPA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA						15,00		
POVEGLIANO VERONESE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA			152,33			208,60		35,00
POZZOLEONE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA								
PRAMAGGIORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE								
PREGANZIOL	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							28,00	
PRESSANA	ARA	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	216,33	222,00	149,00	184,25	167,25	168,25	183,25	
QUINTO DI TREVISO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA	21,00	15,00	12,00		7,00			11,00
REFRONTOLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
RESANA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								3,00
RIESE PIO X	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
ROMANO D'EZZELINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA					17,57			
RONCADE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA				40,33				23,00
ROSA'	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA			7,33		5,00			
ROSSANO VENETO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA								2,00
ROVERE' VERONESE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
ROVEREDO DI GUA'	ARA	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
ROVIGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA			18,00					
S.DONA' DI PIAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE								
SALETTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
SALZANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA								
SAN BIAGIO DI CALLALTA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
SAN BONIFACIO	AAR	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	25,00	63,36	85,27	81,08	71,31	41,75	47,13	
SAN GERMANO DEI BERICI	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA								
SAN GIORGIO DELLE PERTICHE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								6,00
SAN GIORGIO IN BOSCO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								3,00
SAN GIOVANNI LUPATOTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA		5,00				6,00		3,00
SAN MARTINO DI BUON ALBERGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	13,67	9,67	5,00	9,00	6,00	5,00	3,67	
SAN MARTINO DI VENEZZE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA			163,67					
SAN VENDEMIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA						7,00		
SAN VITO DI LEGUZZANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA						183,00		96,00
SANDRIGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA		145,50						
SANTA LUCIA DI PIAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								3,00
SARCEDO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA		8,50	5,00			21,00		4,00
SAREGO	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	3175,21	4683,89	4858,67	6102,24	6088,16	5619,25	8217,97	
SCHIO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA		6,00	63,75	24,75		8,75		9,00
SCORZE'	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA								
SERNAGLIA DELLA BATTAGLIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								6,50
SILEA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
SOAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
SOMMACAMPAGNA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	41,00	7,00		16,50	12,78	12,00	4,30	
SONA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	5,00	11,55	13,06	13,92	18,77	13,54	9,27	
SOVIZZO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	1234,40	1715,50	1204,50	957,75	756,75	759,00	1666,33	
SPINEA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA								
SPRESIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
SUSEGANA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
TEGLIO VENETO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE								
TEOLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
TERRAZZO	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
TEZZE SUL BRENTA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA			11,00	5,00				
THIENE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA		86,77	75,64	120,80	226,50	180,00	85,00	
TORREBELVICINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA								
TORREGLIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
TORRI DI QUARTESOLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA					19,00	6,00	4,00	
TRECENTA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA	6,50							4,00
TREVIGNANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA				20,00				6,33

TREVISO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA			24,00		60,50		
TRICHIANA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
TRISSINO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	3022,15	789,28	1803,00	3610,69	2834,24	4342,95	4314,43
URBANA	ARB	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	215,80	215,33	179,83	188,82	132,67	123,08	138,36
VAL LIONA	AGA*	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	255,67	380,83	384,08	372,92	398,75	348,36	461,33
VALDAGNO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA			14,00	6,50			4,00
VALEGGIO SUL MINCIO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA		18,41	6,00	5,00	27,86	15,20	12,33
VAZZOLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
VEDELAGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
VENEZIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA	20,67	19,00	50,00	28,50	63,00	49,50	57,50
VERONA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	28,91	8,76	7,90	11,33	21,81	12,14	8,75
VESCOVANA	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
VICENZA	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	844,80	1210,36	1191,77	1307,62	1443,92	1730,20	2199,75
VIGHIZZOLO D'ESTE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
VIGONZA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
VILLA ESTENSE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
VILLADOSE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA	5,00	162,25	36,67	16,00	15,00	11,50	15,25
VILLAFRANCA DI VERONA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	12,67	28,00	92,50	55,86	44,60	18,90	25,55
VILLAMARZANA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							
VILLANOVA DEL GHEBBO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							
VILLAVERLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA		5,00	6,67				3,50
VILLORBA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							9,33
VITTORIO VENETO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA	377,00	39,00	6,00	18,00	66,50	15,00	28,00
VO'	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
VOLPAGO DEL MONTELLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
ZANE'	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA	5,00						
ZERMEGHEDO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	24,40	27,18	29,50	9,50	44,38	40,17	11,50
ZERO BRANCO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
ZEVIO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	21,63	13,64	11,81	10,29	7,84	7,54	7,45
ZIMELLA	ARA	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	599,00	684,08	675,17	624,60	632,17	558,25	525,86
ZUGLIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							

Figura 27 Concentrazione media di PFOA nei comuni del Veneto per le acque sotterranee nel periodo di analisi 2017-2023 (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

Concentrazione media di PFOS (ng/l)	Codici Zone	ASL	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
ABANO TERME	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA			241			583	331,6667
ADRIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA			13,5				
AGNA	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
AGUGLIARO	ARB*	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
ALBAREDO D'ADIGE	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
ALONTE	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
ALTAVILLA VICENTINA	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	34,83333	62,625	75,375	77,75	84,33333	70,16667	48
ALTIVOLE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
ARCADE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
ARCOLE	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
ARZIGNANO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	37,88889	72,5	52,8	79,63636	47,625	41	68,22222
ASIGLIANO VENETO	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
ASOLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA						7	9
AURONZO DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
BADIA POLESINE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							
BAGNOLO DI PO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							
BAONE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
BARBARANO MOSSANO	AGA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
BARBONA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
BASSANO DEL GRAPPA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA	268	57,5	95		101	145,5	48
BATTAGLIA TERME	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
BELFIORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
BELLUNO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
BERGANTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							
BEVILACQUA	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
BOARA PISANI	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							
BONAVIGO	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
BORGIO VALBELLUNA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
BORGIO VENETO	ARB	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
BOVOLONE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
BREDA DI PIAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
BREGANZE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
BRENDOLA	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	20,375	20,76471	15,11429	15,65517	14,04348	11,95238	11,70833
BRENTINO BELLUNO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
BRESSANVIDO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
BUSSOLENGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
BUTTAPIETRA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
CADONEGHE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CAERANO DI SAN MARCO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
CALDOGNO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	11	5		10,55556	6		6
CAMISANO VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
CAMPO SAN MARTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CAMPODARSEGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CAMPODORO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CANDA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							
CAORLE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE							
CAPPPELLA MAGGIORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
CAPRINO VERONESE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	7	5,5	37	14			4
CARMIGNANO DI BRENTA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CARTIGLIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
CASALE DI SCODOSIA	AGA*	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CASALE SUL SILE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA	21	48	24	25	40	17	8
CASSOLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
CASTELBALDO	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CASTELCUCCO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
CASTELFRANCO VENETO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA	6						2,5

CASTELGOMBERTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA		11,8	6	9,5	7,4	5,5	7,4
CASTELMASSA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							
CASTELNOVO BARIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							
CASTELNUOVO DEL GARDA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA		28,33333				8	
CAVARZERE	AGA	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA							
CENCENIGHE AGORDINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
CEREA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
CERVARESE SANTA CROCE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CESSALTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA	5						2
CHIAMPO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA				20		14	
CHIOGGIA	AVA	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA							
CHIUPPANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
CINTO EUGANEO	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CITADELLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CODEVIGO	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CODOGNE'	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
COLCERESA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
COLOGNA VENETA	ARA	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	5	6	13	6	7	5,75	
CONA	AGA	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA							
CONCORDIA SAGITTARIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE							
CONEGLIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA	33			38			
CONSELVE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
CORDIGNANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
CORNEDO VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA				13	93,75	14	3
CORNUDA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
CORTINA D'AMPEZZO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
COSTABISSARA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
CREAZZO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	209,5714	246,5	263,7143	216,1667	326	449,6667	304
DANTA DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
DUE CARRARE	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA		6		11			
DUEVILLE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
ERACLEA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE							
ESTE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA		26					
FALCADE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
FARA VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA		7					
FARRA DI SOLIGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							2
FELTRE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
FIESSO UMBERTIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							
FOLLINA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
FONTANELLE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
FONTANIVA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
FOSSALTA DI PORTOGRUARO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE							
GAIARINE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							3
GALLIO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
GALZIGNANO TERME	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
GAMBELLARA	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
GAZZO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
GIACCIANO CON BARUCHELLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							3
GIAVERA DEL MONTELLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
GODEGA DI SANT'URBANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
GRANCONA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
GRANTORTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
GRUARO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE							
GRUMOLO DELLE ABBADESSE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							

ILLASI	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
ISOLA DELLA SCALA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								16,5
ISOLA VICENTINA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA			8		93,75		11	
ISTRANA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
JESOLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE								
LAVAGNO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
LEGNAGO	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA		6,5			7		6	
LENDINARA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA								
LIMENA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
LONGARONE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
LONIGO	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	48,09677	44,32394	47,16923	46,54688	61,76119	84,65538	63,67164	
LORIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA			12				9	6
LOZZO ATESTINO	AGA*	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
LUGO VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA								
MALCESINE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
MALO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA	15	13,5	5	9,8	7,2			7
MARANO VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA	18	9,2	5	10,88889	10,9		7	9,5
MARENO DI PIAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
MAROSTICA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA								
MARTELLAGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA								
MASER	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
MASERA' DI PADOVA	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
MASERADA SUL PIAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
MASI	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
MASON VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA								
MEGLIADINO SAN FIDENZIO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
MEL	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
MEOLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE								
MERLARA	AGA*	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
MESTRINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
MINERBE	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
MIRA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA								
MIRANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA		289,5	367	354	30	151		76
MOGLIANO VENETO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
MONSELICE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	17	10						3
MONTAGNANA	ARA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA			10	11	5	9,333333		5,5
MONTEBELLO VICENTINO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	36	46,25	36,33333	39,07692	61,73333	24,4		25,5
MONTEBELLUNA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
MONTECCHIA DI CROSARA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								6
MONTECCHIO MAGGIORE	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	185,9677	127,8136	74,55769	89,28571	101,0093	69,65	55,81633	
MONTECCHIO PRECALCINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA								2
MONTEGROTTO TERME	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
MONTICELLO CONTE OTTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA			5					
MONTORSO VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	33,66667	52	34	59		43,5		28,5
MORGANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
MORIAGO DELLA BATTAGLIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
MOZZECANE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
NEGRAR	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
NERVESA DELLA BATTAGLIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
NOALE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA								
NOVENTA VICENTINA	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	14,33333	13,66667	22,55556	22,88889	28,55556	40,11111	40,83333	
OCCHIOBELLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA								
ODERZO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
ORGIANO	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA								

ORMELLE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
OSPEDALETTO EUGANEO	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
PADOVA	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA				48			62,75	
PAESE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
PASTRENGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
PERAROLO DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
PERNUMIA	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA	10,33333	23	40,7	40,15789		16,5	5,333333	
PESCANTINA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
PESCHIERA DEL GARDA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
PIACENZA D'ADIGE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
PIAZZOLA SUL BRENTA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
PIEVE DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
PIOMBINO DESE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
POIANA MAGGIORE	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	5							
POLESILLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA								
PONSO	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
PONTE DI PIAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
PONTE NELLE ALPI	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
PONTE SAN NICOLO'	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
PONZANO VENETO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
PORTO TOLLE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA								
PORTOGRUARO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE						41		
POVE DEL GRAPPA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA			13,75		8,571429			
POVEGLIANO VERONESE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
POZZOLEONE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA								
PRAMAGGIORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE								
PREGANZIOL	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA		7	7,666667		7,5	14	5	
PRESSANA	ARA	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
QUINTO DI TREVISO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA								
REFRONTOLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
RESANA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
RIESE PIO X	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA					100			
ROMANO D'EZZELINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA								
RONCADE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA					5			
ROSA'	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA								
ROSSANO VENETO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA								
ROVERE' VERONESE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
ROVEREDO DI GUA'	ARA	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
ROVIGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA								
S.DONA' DI PIAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE								
SALETTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
SALZANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA								
SAN BIAGIO DI CALLALTA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA	5,666667	11	10,75	10,6	11,75	10	6,384615	
SAN BONIFACIO	AAR	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
SAN GERMANO DEI BERICI	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA								
SAN GIORGIO DELLE PERTICHE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
SAN GIORGIO IN BOSCO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
SAN GIOVANNI LUPATOTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	11							
SAN MARTINO DI BUON ALBERGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
SAN MARTINO DI VENEZZE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA			0,3					
SAN VENDEMIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							19,5	
SAN VITO DI LEGUZZANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA			85,5					
SANDRIGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	24				66	25		
SANTA LUCIA DI PIAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA						6	5	

SARCEDO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA								
SAREGO	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	37,11765	32,84	31,33333	42,6	32,16667	24,84211	20,95455	
SCHIO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA			118,6667	61,85714		13,2	6	
SCORZE'	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA								
SERNAGLIA DELLA BATTAGLIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
SILEA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
SOAVE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
SOMMACAMPAGNA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	70			20		6	4,555556	
SONA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA		5,5		6	12		3	
SOVIZZO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	335,25	275	250	213,75	117,5	101,25	171,3333	
SPINEA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA								
SPRESIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
SUSEGANA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
TEGLIO VENETO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE								
TEOLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
TERRAZZO	ARB	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA								
TEZZE SUL BRENTA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA			10	5				
THIENE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA		25,3	30,66667	42	69,8	34	45	
TORREBELVICINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA								
TORREGLIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
TORRI DI QUARTESOLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	5					13	6	
TRECENTA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA	5							
TREVIGNANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
TREVISO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA					10			
TRICHIANA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI								
TRISSINO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	215,9	183,76	282,3636	307,1905	182,3214	240,2143	537,7222	
URBANA	ARB	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
VAL LIONA	AGA*	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA				7,666667		5	3	
VALDAGNO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA				43,2		253,5	7	
VALEGGIO SUL MINCIO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA				9	11,5		2,5	
VAZZOLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
VEDELAGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
VENEZIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA								
VERONA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	35,7	33,35	14,2	19,75	10,04	7,2	6,8	
VESCOVANA	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
VICENZA	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	44,8	49,5	54	53,91667	74,125	69,875	58,14286	
VIGHIZZOLO D'ESTE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
VIGONZA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
VILLA ESTENSE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
VILLADOSE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA							8	
VILLAFRANCA DI VERONA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	36,5	33,33333	100,2143	41,25	32,98333	48,75	28,2	
VILLAMARZANA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA								
VILLANOVA DEL GHEBBO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA								
VILLAVERLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA					6		2,5	
VILLORBA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							2	
VITTORIO VENETO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA	91,5	74,5			125		57	
VO'	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA								
VOLPAGO DEL MONTELLO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
ZANE'	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA								
ZERMEGHEDO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	56	55,09091	41,5	22	49	35,66667	14,83333	
ZERO BRANCO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA								
ZEVIO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA		6,75	8,166667	8	5	5	3,8	
ZIMELLA	ARA	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	64,66667	49,4	56,83333	53,1	55,25	53,08333	41,84615	
ZUGLIANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA								

Figura 28 Concentrazione media di PFOS nei comuni del Veneto per le acque sotterranee nel periodo di analisi 2017-2023 (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

Concentrazione media PFOA (ng/l)	Codici Area	AULSS	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
ALLEGHE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
ALONTE	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA				100			
ALTAVILLA VICENTINA	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
ARCUGNANO	AGA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
ASIAGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
AURONZO DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
BORCA DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
BRENDOLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
BRENTINO BELLUNO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
CALALZO DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
CANALE D'AGORDO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
CASTELCUCCO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
CASTELGOMBERTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
CAZZANO DI TRAMIGNA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
CHIES D'ALPAGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
CISMON DEL GRAPPA	CONTR.								
COLLE SANTA LUCIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
COMELICO SUPERIORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
CORNEDO VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
CORTINA D'AMPEZZO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
CREAZZO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	2774,66667	1963,25	1661,5	1320,545455	1015,818182	923,1818182	1006,6
ESTE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
FOLLINA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
FREGONA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
GRANCONA	CONTR.								
LASTEBASSE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
LIMANA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
LONIGO	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
MALCESINE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
MALO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
MERLARA	AGA*	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
MOLVENA	CONTR.								
MONTE DI MALO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
MONTECCHIO MAGGIORE	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA					217,6		
MONTEFORTE D'ALPONE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
NERVEA DELLA BATTAGLIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
ORGIANO	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
PEDEMONTE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
PEDEROBBA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
PERAROLO DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
POSINA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
RIVAMONTE AGORDINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
ROCCA PIETORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
ROVERÈ VERONESE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
SAN GERMANO DEI BERICI	CONTR.								
SAN PIETRO DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
SAN PIETRO DI FELETTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
SAN VITO DI LEGUZZANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
SAPPADA	CONTR.								
SAREGO	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
SOLAGNA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
SOVIZZO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
TRISSINO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA			24697	26540			
VALDAGNO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
VALSTAGNA	CONTR.								
VICENZA	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	5973,33333	7819,75	8556,833333	8071,833333	7966,666667	7746,916667	7309,75
VITTORIO VENETO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
ZIMELLA	ARA	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	510,666667	541,75	622,5	697	823,75	802,25	
ZOLDO ALTO	CONTR.								

Figura 29 Concentrazione media di PFOA nei comuni del Veneto per le acque sorgenti e risorgive nel periodo di analisi 2017-2023 (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

Concentrazione media di PFOS (ng/l)	Codici Area	AULSS	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
ALLEGHE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
ALONTE	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
ALTAVILLA VICENTINA	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
ARCUGNANO	AGA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
ASIAGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
AURONZO DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
BORCA DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
BRENDOLA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
BRENTINO BELLUNO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
CALALZO DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
CANALE D'AGORDO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
CASTELCUCCO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
CASTELGOMBERTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
CAZZANO DI TRAMIGNA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
CHIES D'ALPAGO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
CISON DEL GRAPPA	CONTR.								
COLLE SANTA LUCIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
COMELICO SUPERIORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
CORNEDO VICENTINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
CORTINA D'AMPEZZO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
CREAZZO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	470,5	381,5	336,8	297,1818182	222,1818182	177	132,4
ESTE	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
FOLLINA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
FREGONA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
GRANCONA	CONTR.								
LASTEBASSE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
LIMANA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
LONIGO	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
MALCESINE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
MALO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
MERLARA	AGA*	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA							
MOLVENA	CONTR.								
MONTE DI MALO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
MONTECCHIO MAGGIORE	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
MONTEFORTE D'ALPONE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
NERVESA DELLA BATTAGLIA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
ORGIANO	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
PEDEMONTANE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
PEDEROBBA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
PERAROLO DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
POSINA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
RIVAMONTE AGORDINO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
ROCCA PIETORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
ROVERÈ VERONESE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA							
SAN GERMANO DEI BERICI	CONTR.								
SAN PIETRO DI CADORE	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 1 DOLOMITI							
SAN PIETRO DI FELETTO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
SAN VITO DI LEGUZZANO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
SAPPADA	CONTR.								
SAREGO	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
SOLAGNA	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTANA							
SOVIZZO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
TRISSINO	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA			30	37			
VALDAGNO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA							
VALSTAGNA	CONTR.								
VICENZA	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	410,1666667	447,5833333	570,3333333	578,5	552,2222222	516,8333333	458,0909091
VITTORIO VENETO	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA							
ZIMELLA	ARA	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	510,6666667	22,25	23	24,5	27	25	
ZOLDO ALTO	CONTR.								

Figura 30 Concentrazione media di PFOS nei comuni del Veneto per le acque sorgenti e risorgive nel periodo di analisi 2017-2023 (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

Tabella 72 Tabella descrittiva per il PFOA nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

Acque superficiali										
PFOA (ng/l)	N.	Media	Deviazione standard	Mediana	Q1	Q3	Minimo	Massimo	IQR	
2017	36	92,36	154,56	6,00000	18,2	33,17	73,25	758,67	55,00	
2018	45	84,09	121,78	5,00000	14,0	32,00	71,25	531,08	57,25	
2019	58	64,96	116,31	5,00000	9,75	16,13	46,17	488,00	36,42	
2020	71	50,25	79,96	5,00000	10,5	18,00	45,71	470,50	35,17	
2021	61	48,62	79,32	5,00000	10,2	14,75	37,87	434,58	27,62	

2022	72	51,39	102,75	5,00000	9,00	15,39	38,41	717,25	29,41
2023	90	56,21	112,32	2,00000	4,13	17,70	43,73	667,75	39,60

Tabella 73 Tabella descrittiva per il PFOS nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

Acque superficiali									
PFO S	N.	Media	Deviazione standard	Mediana	Q1	Q3	Minimo	Massimo	IQR
2017	16	38,15	53,51	5,00	5,88	16,7	28,76	192,60	22,8
2018	57	11,22	21,64	0,29	1,97	4,24	9,01	134,58	7,04
2019	93	6,35	16,04	0,17	0,92	1,90	4,99	122,00	4,07
2020	98	3,97	5,43	0,22	1,13	2,10	3,48	32,90	2,35
2021	105	3,83	7,96	0,19	1,06	1,93	3,57	73,41	2,51
2022	117	4,57	12,74	0,21	0,99	2,08	3,37	127,67	2,39
2023	139	4,27	12,33	0,19	0,89	1,83	3,17	136,25	2,28

Tabella 74 Tabella descrittiva per il PFOA nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

Acque sotterranee									
PFOA (ng/l)	N.	Media	Deviazione standard	Mediana	Q1	Q3	Minimo	Massimo	IQR
2017	55,0	382,49	784,57	5,00	16,66	42,00	256,20	3175,21	239,54
2018	66,0	320,31	787,22	5,00	11,14	32,17	201,04	4683,89	189,91
2019	67,0	321,22	782,83	5,00	11,91	50,00	178,92	4858,67	167,01
2020	64,0	400,40	1026,76	5,00	12,58	35,25	202,31	6102,24	189,73
2021	62,0	422,51	1060,05	5,00	14,25	44,49	204,55	6088,16	190,30
2022	63,0	412,72	1069,87	5,00	12,84	41,75	167,98	5619,25	155,14
2023	90,0	321,77	1079,25	2,00	5,63	16,13	111,34	8217,97	105,72

Tabella 75 Tabella descrittiva per il PFOS nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

Acque sotterranee									
PFOS (ng/l)	N.	Media	Deviazione standard	Mediana	Q1	Q3	Minimo	Massimo	IQR
2017	37	57,50	80,77	5,00	11,00	33,33	50,07	335,25	39,07
2018	42	51,70	71,18	5,00	9,40	27,17	54,32	289,50	44,92
2019	37	67,35	91,72	0,30	13,00	31,33	74,56	367,00	61,56

2020	44	51,11	76,46	5,00	10,59	22,44	49,28	354,00	38,69
2021	44	50,33	59,62	5,00	8,89	32,58	70,88	326,00	61,99
2022	44	65,09	115,60	5,00	9,00	20,70	64,48	583,00	55,48
2023	56	40,58	92,21	2,00	3,95	7,20	41,09	537,72	37,14

Tabella 76 Tabella descrittiva per il PFOA nelle acque sorgenti e risorgive (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

Acque sorgenti e risorgive									
PFOA (ng/l)	N.	Media	Deviazione standard	Mediana	Q1	Q3	Min	Max	IQR
2017	3	3.086,22		2.774,67	1.642,67	4.374,00	510,67	5.973,33	2.731,33
2018	3	3.441,58		1.963,25	1.252,50	4.891,50	541,75	7.819,75	3.639,00
2019	4	8.884,46		5.109,17	1.401,75	12.591,9	622,50	24.697	11.190,1
2020	5	7.345,88		1.320,55	697,00	8.071,83	100,00	26.540	7.374,83
2021	4	2.505,96		919,78	672,21	2.753,53	217,60	7.966,67	2.081,32
2022	3	3.157,45		923,18	862,72	4.335,05	802,25	7.746,92	3.472,33
2023	2	4.158,18		4.158,18	2.582,39	5.733,96	1.006,6	7.309,75	3.151,58

Tabella 77 Tabella descrittiva per il PFOS nelle acque sorgenti e risorgive (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

Acque sorgenti e risorgive									
PFOS (ng/l)	N.	Media	Deviazione standard	Mediana	Q1	Q3	Min	Max	IQR
2017	3	463,78		470,50	440,33	490,58	410,17	510,67	50,25
2018	3	283,78		381,50	201,88	414,54	22,25	447,58	212,67
2019	4	240,03		183,40	28,25	395,18	23,00	570,33	366,93
2020	4	234,30		167,09	33,88	367,51	24,50	578,50	333,64
2021	3	267,13		222,18	124,59	387,20	27,00	552,22	262,61
2022	3	239,61		177,00	101,00	346,92	25,00	516,83	245,92
2023	2	295,25		295,25	213,82	376,67	132,40	458,09	162,85

ALLEGATO II:

Si presentano le tabelle contenenti i dati sui superamenti dei limiti normativi per i composti PFOA e PFOS, rilevati sia nelle acque superficiali (rispetto al parametro SQA-MA) sia nelle acque sotterranee (valori soglia). Queste tabelle forniscono una visione dettagliata delle concentrazioni di contaminanti rispetto ai limiti stabiliti, offrendo un quadro chiaro delle aree in cui i livelli di queste sostanze perfluoroalchiliche eccedono i valori consentiti dalla normativa.

Tabella 78 Concentrazioni superiori al SQA-MA fissati per il PFOA nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

PFOA (ng/l)	Codici Zona	AULSS ¹¹²	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Altavilla Vicentina	AAR	AULSS N. 8 BERICA		336	100,2	100,5		123	108
Anguillara Veneta	AGA	AULSS N. 6 EUGANEA							519,25
Asigliano Veneto	ARA	AULSS N. 8 BERICA				197,75	201,12	157,43	282,5
Campiglia Dei Berici	AGA	AULSS N. 8 BERICA			488				
Cologna Veneta	ARA	AULSS N. 9 SCALIGERA	299,85	289,34	262,02	238,88	227,98	253,86	303,84
Creazzo	AAR	AULSS N. 8 BERICA		531,08	450,25				
Longare	AGA	AULSS N. 8 BERICA	144						
Lonigo	ARA	AULSS N. 8 BERICA	758,67	355,4	474,8	470,5	434,58	717,25	407,24
Megliadino San Vitale	ARB*	AULSS N. 6 EUGANEA				112			
Nanto	AGA	AULSS N. 8 BERICA	129,5						
Noventa Vicentina	ARA	AULSS N. 8 BERICA				182,5	212	117,5	272,75
Poiana Maggiore	ARA	AULSS N. 8 BERICA	178	112,9	115,33 33	136,66 67	113,33 33		121
Roveredo Di Gua'	ARA	AULSS N. 9 SCALIGERA			119,75	108,75		112,33 33	166,66 67

Sarego	ARA	AULSS N. 8 BERICA	298	213,21 43	195	253,25	208	263,8	243,75
Trissino	AAR	AULSS N. 8 BERICA							667,75
Urbana	ARB	AULSS N. 6 EUGANEA		217					
Vescovana	AGA	AULSS N. 6 EUGANEA				106,5		256	
Vicenza	AAR	AULSS N. 8 BERICA	495,5	369,08 33	182,7	116,95	128,82 14	129,11 11	167,69 7
Zimella	ARA	AULSS N. 9 SCALIGERA	196	270,75	364,62 5	303,41 67	272,73 33	317,76 92	285,5

Tabella 79 Concentrazioni superiori al SQA-MA fissati per il PFOS nelle acque superficiali (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

PFOS	Codici Zona	AULSS	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Adria	CONTR.	AULSS N. 5 POLESANA		2,36	1,73	1,195	0,96	1,167
Agugliaro	ARB*	AULSS N. 8 BERICA			3,40	2,22	2,11	2,11
Albettone	AGA	AULSS N. 8 BERICA			3,83	4,01	8,12	6,36
Altavilla Vicentina	AAR	AULSS N. 8 BERICA	66	17,14	17,71	16,65	24,38	18,19
Anguillara Veneta	AGA	AULSS N. 6 EUGANEA			3,49	1,65	1,88	1,25
Arcole	ARB	AULSS N. 9 SCALIGERA		1,1			1,77	2,57
Ariano Nel Polesine	CONTR.	AULSS N. 5 POLESANA		1,77	2,81	2,79	2,80	1,88
Arre	AGA	AULSS N. 6 EUGANEA		2,2	2,08	1,96	3,44	1,7
Asigliano Veneto	ARA	AULSS N. 8 BERICA			8,17	7,51	4,51	7,15
Badia Polesine	CONTR.	AULSS N. 5 POLESANA		0,95				

Bagnoli Di Sopra	AGA	AULSS N. 6 EUGANEA		3,09				
Battaglia Terme	AGA	AULSS N. 6 EUGANEA	9,01	6,56	4,45	3,57	3,05	4,90
Bevilacqua	ARB	AULSS N. 9 SCALIGERA	6,91	3,59	2,57	3,86	4,10	3,52
Bolzano Vicentino	CONTR.	AULSS N. 8 BERICA	3,44	1,56	2,05	1,63	1,10	1,76
Bosaro	CONTR.	AULSS N. 5 POLESANA		1,27				1,55
Bovolenta	AVA	AULSS N. 6 EUGANEA	4,86	5,44	2,76	3,58	3,12	4,1
Brendola	ARA	AULSS N. 8 BERICA	20,17	19,6				12,99
Bressanvido	CONTR.	AULSS N. 8 BERICA	15,66	7,40	3,68	2,36	1,82	2,07
Caldogno	CONTR.	AULSS N. 8 BERICA	4,045	7,40	1,35	1,09	2,33	4,57
Camisano Vicentino	CONTR.	AULSS N. 8 BERICA						0,76
Campagna Lupia	CONTR.	AULSS N. 3 SERENISSIMA		2,95	2,08	1,75	2,12	3,12
Campiglia Dei Berici	AGA	AULSS N. 8 BERICA				1,23	0,87	1,00
Campo San Martino	CONTR.	AULSS N. 6 EUGANEA			0,68		0,98	1,06
Campodarsego	CONTR.	AULSS N. 6 EUGANEA						2,67
Campolongo Maggiore	CONTR.	AULSS N. 3 SERENISSIMA	2,71	3,58	1,51	1,45	3,41	
Canaro	CONTR.	AULSS N. 5 POLESANA	2,56	2,23	1,81	2,01	2,05	
Caorle	CONTR.	AULSS N. 4 VENETO				0,97	0,97	
Casaleone	CONTR.	AULSS N. 9 SCALIGERA						1,70
Castello Di Godego	CONTR.	AULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA				3,92		

Castelgomberto	CONTR.	AULSS N. 8 BERICA							0,73
Castelmassa	CONTR.	AULSS N. 5 POLESANA		5,68	2,47	2,39	2,45		2,67
Cavarzere	AGA	AULSS N. 3 SERENISSIMA	4,91	3,65	2,78	2,90	1,95		2,37
Cerea	CONTR.	AULSS N. 9 SCALIGERA							1,8
Cessalto	CONTR.	AULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA					1,54		
Chioggia	AVA	AULSS N. 8 BERICA	2,81	1,62	1,77	2,22	2,14		2,11
Cinto Eugano	AGA	AULSS N. 6 EUGANEA	5,28	5,12					
Codevigo	AVA	AULSS N. 6 EUGANEA		3,12	3,04	3,80	2,26		2,66
Cologna Veneta	ARA	AULSS N. 9 SCALIGERA	23,32	21,89	26,93	23,15	26,30		22,30
Cona	AGA	AULSS N. 3 SERENISSIMA			1,92	2,32	3,31		2,53
Conegliano	CONTR.	AULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA		1,30					
Conselve	AGA	AULSS N. 6 EUGANEA		2,37	2,76				
Corbola	CONTR.	AULSS N. 5 POLESANA	2,86	1,78	2,11	2,39	2,58		2,344
Correzzola	AVA	AULSS N. 6 EUGANEA	6,80	5,13	7,83	3,92	3,75		3,23
Creazzo	AAR	AULSS N. 8 BERICA	134,58	122					
Dueville	CONTR.	AULSS N. 8 BERICA			2,28		2,69		1,75
Eraclea	CONTR.	AULSS N. 4 VENETO					1,06		1,61
Este	AGA	AULSS N. 6 EUGANEA	5,83	2,13	3,34	2,85	4,92		2,19

Fontanelle	CONTR.	AULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA	1,42		0,7	0,81			
Fosso'	CONTR.	AULSS N. 3 SERENISSIMA					2,46	1,86	
Gaiarine	CONTR.	AULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA		1,16	1,11	1,50	0,83		
Gazzo Veronese	CONTR.	AULSS N. 9 SCALIGERA					1,78	1,33	
Giacciano Con Baruchella	CONTR.	AULSS N. 5 POLESANA		0,78			1,31	1,41	
Grumolo Delle Abbadesse	CONTR.	AULSS N. 8 BERICA		1,05				2,75	
Isola Rizza	CONTR.	AULSS N. 9 SCALIGERA				1,17	1,47	1,57	
Jesolo	CONTR.	AULSS N. 4 VENETO	1,02	0,77		0,84	0,79	0,79	
Legnago	ARB	AULSS N. 9 SCALIGERA						1,64	
Longare	AGA	AULSS N. 8 BERICA	16,00	13,75	13,41	7,45	13,77	9,34	
Lonigo	ARA	AULSS N. 8 BERICA	57,88	80,2	32,9	73,41	127,67	41,29	
Loreggia	CONTR.	AULSS N. 6 EUGANEA					3,07	2,89	
Lozzo Atestino	AGA*	AULSS N. 6 EUGANEA			2,97	3,00	2,16	1,69	
Mareno Di Piave	CONTR.	AULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA						0,79	
Massanzago	CONTR.	AULSS N. 6 EUGANEA					2,66	3,17	
Megliadino San Vitale	ARB*	AULSS N. 6 EUGANEA	1,97	1,47	1,54	1,26	1,12	0,93	
Melara	CONTR.	AULSS N. 5 POLESANA		2,46					
Merlara	AGA*	AULSS N. 6 EUGANEA			2,92	5,04	3,71	3,96	

Mira	CONTR.	AULSS N. 3 SERENISSIMA		1,74	1,91	1,93	2,53	2,85
Mirano	CONTR.	AULSS N. 3 SERENISSIMA					1,77	1,83
Monselice	AGA	AULSS N. 6 EUGANEA				1,73	3,37	3,06
Montecchio Maggiore	AAR	AULSS N. 8 BERICA						8,55
Montorso Vicentino	CONTR.	AULSS N. 8 BERICA				2,72	3,26	2,03
Motta Di Livenza	CONTR.	AULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA		2,77	1,38	1,34	1,94	1,76
Nanto	AGA	AULSS N. 8 BERICA	15,62	8,37	10,76	1,13		
Nogarole Rocca	CONTR.	AULSS N. 9 SCALIGERA			0,83	1,00	1,53	0,71
Noventa Padovana	AVA	AULSS N. 6 EUGANEA	4,24	4,05	3,04	5,06	3	2,53
Noventa Vicentina	ARA	AULSS N. 8 BERICA			6,02	8,01	4,97	6,28
Occhiobello	CONTR.	AULSS N. 5 POLESANA		2,32				
Oppeano	CONTR.	AULSS N. 9 SCALIGERA			3,01	1,99	2,53	4,04
Padova	AVA	AULSS N. 6 EUGANEA		3,61	3,05	5,27	2,65	4,70
Paese	CONTR.	AULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA			0,85			
Pernumia	AGA	AULSS N. 6 EUGANEA		1,59	1,73	2,62	3,8	2,94
Peschiera Del Garda	CONTR.	AULSS N. 9 SCALIGERA		1,58	0,82	1,22	0,88	1,21
Piombino Dese	CONTR.	AULSS N. 6 EUGANEA					0,76	
Poiana Maggiore	ARA	AULSS N. 8 BERICA	5,36	4,85	4,30	2,88	1,83	2,80

Polesella	CONTR.	AULSS N. 5 POLESANA							2,09
Ponte San Nicolo'	AVA	AULSS N. 6 EUGANEA	8,03	5,38	2,92	3,44	3,12		3,66
Pontelongo	AVA	AULSS N. 6 EUGANEA			4,07	4,91			
Porto Tolle	CONTR.	AULSS N. 5 POLESANA		2,32	1,57	1,73	1,70		1,18
Porto Viro	CONTR.	AULSS N. 5 POLESANA	1,19	0,92	1,05	0,94	0,84		0,88
Pozzonovo	AGA	AULSS N. 6 EUGANEA	4,08	3,90	2,49	3,72	5,30		3,74
Quarto D'altino	CONTR.	AULSS N. 3 SERENISSIMA	0,95						0,89
Ronca'	CONTR.	AULSS N. 9 SCALIGERA							4,11
Roncade	CONTR.	AULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA			0,9	1,15	0,91		1,14
Roveredo Di Gua'	ARA	AULSS N. 9 SCALIGERA	9,01	14,77	9,32	9,97	9,66		9,57
Rovigo	CONTR.	AULSS N. 5 POLESANA			0,96	1,06	0,77		
Rovolon	AGA	AULSS N. 6 EUGANEA			1,20	1,49	1,26		1,58
Saccolongo	AVA	AULSS N. 6 EUGANEA	9,90	11,60	7,91	4,76	6,48		6,21
Salara	CONTR.	AULSS N. 5 POLESANA		1,62					2,63
San Bonifacio	AAR	AULSS N. 9 SCALIGERA	7,89						13,68
San Giorgio In Bosco	CONTR.	AULSS N. 6 EUGANEA			0,69	1,02	1,03		1,50
San Giovanni Illarione	CONTR.	AULSS N. 9 SCALIGERA			11,58	13,72	39,83		15,77
San Martino Buon Albergo	CONTR.	AULSS N. 9 SCALIGERA	1,9	1,46					1,92
Sandrigo	CONTR.	AULSS N. 8 BERICA			1,58	1,02			0,70

Sant'urbano	AGA	AULSS N. 6 EUGANEA	5,18	2,16	2,22	2,94	4,21	2,80
Sarego	ARA	AULSS N. 8 BERICA	20,49	15,96	12,60	13,10	16,74	10,37
Schio	CONTR.	AULSS N. 7 PEDEMONTANA			18,50			
Silea	CONTR.	AULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA			0,97	1,05	0,85	1,16
Sona	CONTR.	AULSS N. 9 SCALIGERA					1,29	1,35
Sorgà	CONTR.	AULSS N. 9 SCALIGERA						0,97
Sossano	AGA	AULSS N. 8 BERICA			0,87	0,83	1,20	1,28
Sovizzo	AAR	AULSS N. 8 BERICA	2,60	0,90	1,37	1,01	1,52	1,48
Stanghella	CONTR.	AULSS N. 6 EUGANEA	4,00	5,63	3,44	2,69	4,05	2,32
Stra	CONTR.	AULSS N. 3 SERENISSIMA			1,39	0,70	1,99	1,42
Taglio Di Po	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 5 POLESANA	2,33	1,93	2,28	2,60	2,97	2,28
Terrazzo	ARB	AULSS N. 9 SCALIGERA		1,04	0,98	1,30	1,28	1,20
Tezze Sul Brenta	CONTR.	AULSS N. 7 PEDEMONTANA		1,31				
Tombolo	CONTR.	AULSS N. 6 EUGANEA				1,80	2,21	1,70
Torre Di Mosto	CONTR.	AULSS N. 4 VENETO ORIENTALE	2,76	1,90	1,23	1,42	1,76	2,10
Torri Di Quartesolo	CONTR.	AULSS N. 8 BERICA			8,06	7,81	9,94	11,18
Treviso	CONTR.	AULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA	1,79	1,52	1,38	1,39	1,41	1,29
Tribano	AGA	AULSS N. 6 EUGANEA	5,00	4,99	2,94	2,75	3,98	4,25

Trissino	AAR	AULSS N. 8 BERICA	2,99	5,46	1,72	1,34	2,10	13,85
Urbana	ARB	AULSS N. 6 EUGANEA	25,00					
Veggiano	AVA	AULSS N. 6 EUGANEA	4,92	3,84	5,69	4,68	4,36	3,90
Venezia	CONTR.	AULSS N. 3 SERENISSIMA	1,15	0,86	1,00	1,45	0,89	1,21
Verona	CONTR.	AULSS N. 9 SCALIGERA					4,81	5,53
Vescovana	AGA	AULSS N. 6 EUGANEA	1,49	9,68	4,97	1,30	2,60	0,80
Vestenanova	CONTR.	AULSS N. 9 SCALIGERA						136,25
Vicenza	AAR	AULSS N. 8 BERICA	58,72	45,15	14,45	17,18	21,42	14,92
Vigasio	CONTR.	AULSS N. 9 SCALIGERA			2,48	2,23	1,82	2,21
Vigonza	CONTR.	AULSS N. 6 EUGANEA				2,44	2,62	2,85
Villadose	CONTR.	AULSS N. 5 POLESANA					1,05	
Villaga	AGA	AULSS N. 8 BERICA			10,72	2,93	6,14	4,26
Villanova Marchesana	CONTR.	AULSS N. 5 POLESANA	2,70	1,71	1,96	1,99	2,88	2,12
Villaverla	CONTR.	AULSS N. 7 PEDEMONTANA	4,57	1,50	1,43	1,77	2,00	3,16
Vo'	AGA	AULSS N. 6 EUGANEA			2,33	5,82	5,86	2,67
Zevio	CONTR.	AULSS N. 9 SCALIGERA		0,94	1,30			
Zimella	ARA	AULSS N. 9 SCALIGERA	22,51	35,82	15,46	20,13	15,18	13,86

Tabella 80 Concentrazioni superiori ai valori soglia fissati per il PFOA nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

PFOA (ng/l)	Codici Zona	AULSS	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Cologna Veneta	ARA	AULSS N. 9 SCALIGERA	2780,3 3	3222,8 0	2660,4 0	3838,2 5	4004	3771	2776
Creazzo	AAR	AULSS N. 8 BERICA	2782,7 1	2417,3 3	2538,5 7	2046,8 3	3301	3063,6 7	2748
Lonigo	ARA	AULSS N. 8 BERICA	1548,4 9	1448	1578,6 2	1662,0 2	1632,0 1	1582,1 8	1593,9 0
Montagnana	ARA	AULSS N. 6 EUGANEA				542,50	547,50	765,50	
Montecchio Maggiore	AAR	AULSS N. 8 BERICA	704,93						
Noventa Vicentina	ARA	AULSS N. 8 BERICA		570,58 3	573,83		706,31		
Pescantina	CONTR.	AULSS N. 9 SCALIGERA				690,94	644,37		
Sarego	ARA	AULSS N. 8 BERICA	3175,2 1	4683,8 9	4858,6 7	6102,2 4	6088,1 6	5619,2 5	8217,9 7
Sovizzo	AAR	AULSS N. 8 BERICA	1234,4	1715,5	1204,5	957,75	756,75	759,00	1666,3 3
Trissino	AAR	AULSS N. 8 BERICA	3022,1 5	789,28 1	1803,0 0	3610,6 9	2834,2 4	4342,9 5	4314,4 3
Vicenza	AAR	AULSS N. 8 BERICA	844,80	1210,3 6	1191,7 7	1307,6 1	1443,9 2	1730,2 0	2199,7 5
Zimella	ARA	AULSS N. 9 SCALIGERA	599	684,08	675,17	624,60	632,17	558,25	525,86

Tabella 81 Concentrazioni superiori ai valori soglia fissati per il PFOS nelle acque sotterranee (Fonte: ns. elaborazione dati ARPAV 2024).

PFOS (ng/l)	Codici Zona	AULSS	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Abano Terme	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA			241,00			583,00	331,67
Altavilla Vicentina	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA		62,63	75,38	77,75	84,33	70,17	48,00

Arzignano	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	37,89	72,50	52,80	79,64	47,63	41,00	68,22
Bassano Del Grappa	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7	268,00	57,50	95,00		101,00	145,50	48,00
Caprino Veronese	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9			37,00				
Casale Sul Sile	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA		48,00			40,00		
Conegliano	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA	33,00			38,00			
Cornedo Vicentino	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA					93,75		
Creazzo	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	209,57	246,50	263,71	216,17	326,00	449,67	304,00
Isola Vicentina	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA					93,75		
Lonigo	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	48,10	44,32	47,17	46,55	61,76	84,66	63,67
Mirano	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 3 SERENISSIMA		289,50	367,00	354,00		151,00	76,00
Montebello Vicentino	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	36,00	46,25	36,33	39,08	61,73		
Montecchio Maggiore	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	185,97	127,81	74,56	89,29	101,01	69,65	55,82
Montorso Vicentino	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	33,67	52,00	34,00	59,00		43,50	
Noventa Vicentina	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA						40,11	40,83
Padova	AVA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA				48,00		62,75	
Pescantina	AGA	AZIENDA ULSS N. 6 EUGANEA				40,70	40,16		
Pove Del Grappa	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 4 VENETO ORIENTALE					41,00		
Romano D'ezzelino	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA					100,00		
San Vendemiano	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA		85,50					

San Vito Di Leguzzano	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTAN					66,00		
Sarego	ARA	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	37,12	32,84	31,33	42,60	32,17		
Schio	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTAN			118,67	61,86			
Sommacampagna	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	70,00						
Sovizzo	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	335,25	275,00	250,00	213,75	117,50	101,25	171,33
Thiene	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 7 PEDEMONTAN			30,67	42,00	69,80	34,00	45,00
Trissino	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	215,90	183,76	282,36	307,19	182,32	240,21	537,72
Valdagno	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA				43,20		253,50	
Verona	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	35,70	33,35					
Vicenza	AAR	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	44,80	49,50	54,00	53,92	74,13	69,88	58,14
Villafranca Di Verona	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	36,50	33,33	100,21	41,25	32,98	48,75	
Vittorio Veneto	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 2 MARCA TREVIGIANA	91,50	74,50			125,00		57,00
Zermeghedo	CONTR.	AZIENDA ULSS N. 8 BERICA	56,00	55,09	41,50		49,00	35,67	
Zimella	ARA	AZIENDA ULSS N. 9 SCALIGERA	64,67	49,40	56,83	53,10	55,25	53,08	41,85