

Monitoraggio delle sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS) in Cantone Ticino

Maggio 2025

Sommario

1. Introduzione	4
2. Ordinanze e valori limite in vigore in Svizzera	6
3. Valutazioni tossicologiche ed ecotossicologiche	7
4. Programma di monitoraggio	8
5. Monitoraggio PFAS in Cantone Ticino	9
5.1 Suolo	9
5.2 Acque superficiali del Lago Ceresio	11
5.3 Acque sotterranee	12
5.4 Acque sotterranee e di percolato di discariche e depositi	13
5.5 Acqua potabile e acqua greggia utilizzata a scopo potabile	15
5.6 Analisi di PFAS nella fauna ittica	17
5.6.1 Pesci di lago	17
5.6.2 Pesci da corsi d'acqua	23
6. Discussione	25
7. Riferimenti bibliografici	27
8. Allegati	29

Riassunto

Le sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS) sono composti chimici sintetici estremamente stabili e difficilmente degradabili. Grazie a proprietà uniche e versatili, questi composti sono stati utilizzati per decenni per innumerevoli applicazioni e all'interno dei beni di consumo. Nel tempo, il rilascio di PFAS nell'ambiente combinato alla loro notevole persistenza ne hanno favorito la distribuzione e l'accumulo in diversi comparti ambientali e lungo la catena alimentare. Queste circostanze, combinate agli effetti negativi di alcuni composti appartenenti alla famiglia dei PFAS, rappresentano un rischio per la comunità biotica e per l'uomo.

A partire dal 2020, la Sezione della protezione dell'aria, dell'acqua e del suolo e il Laboratorio cantonale hanno eseguito analisi e monitoraggi ambientali volti ad approfondire e comprendere l'attuale contaminazione da PFAS in Ticino. I risultati presentati nel presente rapporto mostrano una presenza ubiquitaria di PFAS in tutti i comparti ambientali, in linea con quanto emerge nel resto della Svizzera e a livello internazionale. Oltre alla contaminazione diffusa, spiccano puntualmente elevate concentrazioni riconducibili ad una passata immissione diretta di prodotti o materiali contenenti PFAS, quali le schiume antiincendio, particolari prodotti chimici o fanghi di depurazione. Il trasferimento dall'ambiente alla componente biotica è testimoniato dall'accumulo di determinati PFAS nei pesci, con concentrazioni variabili in funzione della specie ittica e degli habitat.

Il presente rapporto definisce l'attualità del tema, la sua continua evoluzione e la necessità di aggiornare ed estendere regolarmente le analisi di monitoraggio. I dati qui presentati forniscono un primo quadro rappresentativo dell'estensione del problema in relazione ai residui misurabili nelle acque sotterranee e nelle acque potabili. Per altri comparti ambientali e derrate alimentari, dovranno essere completati per ottenere una panoramica più ampia. Tali dati, uniti a quelli raccolti da altri Cantoni e dalla Confederazione, saranno pure fondamentali per sviluppare un quadro robusto dell'attuale stato di inquinamento di PFAS a livello nazionale, gettando così le basi per le attività che saranno necessarie per gestire il problema negli anni a venire.

1. Introduzione

I composti per- e polifluoroalchilici (PFAS) includono migliaia di sostanze non presenti in modo naturale nell'ambiente. Tali sostanze sono state e sono tuttora utilizzate in numerosi processi industriali e artigianali, e compaiono in molti prodotti. Le loro proprietà oleorepellenti, idrorepellenti e termoresistenti ne hanno di fatto favorito il largo impiego a partire dalla metà del Novecento. I PFAS sono stati utilizzati nell'industria tessile, per esempio nella produzione di vestiti resistenti alla pioggia, nella lavorazione del cuoio e della carta, nel rivestimento di pentole antiaderenti, nei sistemi di raffreddamento, oltre che in processi di galvanotecnica, come componenti all'interno degli schermi di apparecchi elettronici e all'interno degli schiumogeni antiincendio [1].

Le stime dell'Agenzia europea delle sostanze chimiche (ECHA) indicano che annualmente sono rilasciate nell'ambiente decine di migliaia di tonnellate di PFAS [2]. Con il rilascio diffuso e puntuale e il trasporto atmosferico o attraverso altri vettori, le precipitazioni e le deposizioni, residui di PFAS sono oramai misurati in modo ubiquitario nelle acque e nei suoli. L'elevata stabilità chimica ne ha favorito l'accumulo sia nei comparti ambientali che negli organismi viventi. In virtù di proprietà chimiche particolari, diversi composti della famiglia dei PFAS sono considerati come *persistenti, bioaccumulabili e tossici* (PBT). Con marcate differenze tra i diversi composti a catena lunga (più di sei atomi di carbonio) o a catena corta (fino a sei atomi di carbonio), i PFAS tendono ad accumularsi progressivamente negli organismi ad ogni livello della catena alimentare, legandosi alle proteine, risultando resistenti all'attività metabolica e all'escrezione dal corpo. Accanto a tutto ciò, gli effetti negativi per la salute, attualmente confermati solo per alcune di queste sostanze, accentuano le preoccupazioni relative al rilascio e alla dispersione nell'ambiente [3].

Dalle valutazioni del rischio condotte dall'Autorità europea per la sicurezza alimentare (EFSA) e dall'Istituto federale tedesco per la valutazione del rischio è emerso che, nei bambini, sussiste una correlazione tra i tenori di PFAS rilevati nel sangue e una ridotta concentrazione di anticorpi postvaccino, con una conseguente riduzione dell'efficacia delle vaccinazioni. Le due organizzazioni sottolineano inoltre altri possibili effetti negativi sulla salute di elevati tenori di PFAS nel sangue, ad esempio sul fegato, sui reni o sul peso alla nascita [4].

A livello mondiale come pure in Svizzera, nel corso degli ultimi anni sono state eseguite indagini allo scopo di comprendere l'estensione della contaminazione di PFAS nell'ambiente. Una campagna di monitoraggio delle acque sotterranee su fondi utilizzati quali piazze d'esercizio dei pompieri condotta in Vallese ha evidenziato la presenza di cinque siti contaminati, con importanti costi di bonifica [5]. Un secondo studio presentato dal Cantone San Gallo ha permesso di scoprire diverse criticità nelle acque superficiali e sotterranee [6]. Sempre nel Cantone San Gallo è stata rinvenuta un'importante contaminazione nel suolo dovuta all'utilizzo di schiume di spegnimento da parte dei pompieri nel corso di esercitazioni. In questo caso i costi di risanamento sono stati stimati attorno ai 17 milioni di franchi [7]. Sulla stessa linea, nel corso degli ultimi anni sono state eseguite analisi di PFAS nelle acque di falda e nell'acqua potabile di diversi cantoni svizzeri (Argovia, Basilea, Berna, Friburgo, Grigioni, Lucerna, Sciaffusa, Soletta, Turgovia, Vaud).

Nell'ottobre del 2023 sono stati pubblicati i risultati della campagna sull'acqua potabile eseguita dall'Associazione dei chimici cantonali svizzeri (ACCS), all'interno della quale cinque diversi laboratori hanno analizzato 563 campioni di acqua potabile provenienti da tutta la Svizzera e dal

Principato del Liechtenstein. In 306 campioni (54%) non è stato rilevato nessun residuo di PFAS. I valori massimi dell'Ordinanza DFI sull'acqua potabile e sull'acqua per piscine e docce accessibili al pubblico (OPPD) sono stati rispettati per tutti i campioni. Soltanto in 5 dei 564 campioni (0.9%) è stato superato il valore massimo della direttiva UE 2020/2184 per la "somma di PFAS" (100 ng/L), valore massimo attualmente non vincolante in Svizzera [8].

Per quanto riguarda la presenza di PFAS nei pesci, in Vallese ad inizio 2023 è stata vietata la pesca nel canale di Stockalp, a causa del ritrovamento di alte concentrazioni di PFAS, in particolare nella trota. Più recentemente sono stati introdotti nella legislazione alimentare dei valori massimi (vedi capitolo 2). Durante il mese di settembre 2024, Basilea Campagna e Città hanno pubblicato i risultati di un'indagine sui pesci (trota fario, barbo europeo e cavedano) nei fiumi dei due Cantoni e a inizio dicembre 2024 il Canton Zugo ha comunicato il superamento dei valori massimi per lucci e pesce persico provenienti dal lago di Zugo. Analogamente, ad inizio 2025 il Canton Zurigo ha reso noto il superamento del valore massimo per il luccio nei laghi di Zurigo, Greifensee e Pfäffikersee. Una recente campagna dei chimici cantonali dei cantoni romandi ha messo infine in evidenza il superamento dei valori massimi per luccio e trota catturati da diversi laghi romandi.

In Cantone Ticino, l'attività di monitoraggio in corso dal 2020 ha permesso di identificare un importante inquinamento da PFAS nelle acque sotterranee della falda Prà Tiro di Chiasso, dove sono state misurate concentrazioni di acido perfluorottano solfonato (PFOS) superiori ai 1'000 ng/L. Il sistema di filtri a carbone attivo, già in opera prima del rilevamento di PFAS in falda e potenziato successivamente, ha permesso di ridurre la concentrazione in uscita a circa il 95% della concentrazione in entrata, mantenendo l'acqua erogata conforme all'OPPD.

Oltre alle analisi eseguite dal Laboratorio cantonale (LC) presso i pozzi d'acqua potabile, negli ultimi anni la Sezione della protezione dell'aria dell'acqua e del suolo (SPAAS) ha condotto diverse analisi focalizzandosi sia sul comparto delle acque sia sul suolo. Inoltre, nei rapporti delle campagne del 2015 e del 2023 della Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (CIPAIS), sono stati pubblicati i risultati per i tenori di PFAS in persici e agoni del Ceresio [9, 10].

Questo rapporto presenta i risultati e le principali prospettive future delle campagne di monitoraggio condotte in Ticino.

2. Ordinanze e valori limite in vigore in Svizzera

In Svizzera, l'utilizzo di acidi perfluorottano sulfonici (PFOS) è, in linea di principio, vietata. Secondo l'allegato 1.16 dell'Ordinanza sulla riduzione dei rischi inerenti ai prodotti chimici (ORR-PChim), la fabbricazione, l'immissione sul mercato e l'impiego di PFOS e dei suoi derivati, nonché sostanze e preparati con un contenuto di PFOS pari o superiore allo 0.001% sono stati vietati a partire dal 1° agosto 2011. Sono inoltre vietati la fabbricazione, l'immissione sul mercato e l'impiego di acidi perfluoroesano sulfonici (PFHxS), nonché sostanze e preparati con un contenuto in massa di PFHxS, acido perfluorooctanoico (PFOA) o sostanze correlate ad acidi con catena più lunga (PFCA C9-C14) dello 0.000025%. Tali limitazioni, sebbene a concentrazioni più elevate, si applicano pure ai composti precursori di PFHxS, PFOA o PFCA C9-C14. La legislazione citata è in linea con gli impegni internazionali del nostro Paese, per esempio quelli sanciti dalla Convenzione di Stoccolma sugli inquinanti organici persistenti (Convenzione POP).

Attualmente, l'Ordinanza sull'acqua potabile sull'acqua per piscine e docce accessibili al pubblico (OPPD) fissa i valori massimi per tre PFAS, ossia il PFOS (300 ng/L), il PFHxS (300 ng/L) e il PFOA (500 ng/L). Nel febbraio 2026 sarà verosimilmente inasprito il valore di legge per i residui di PFAS ammissibili nell'acqua potabile, allineando i requisiti al valore europeo (somma di 20 PFAS < 100 ng/L).

All'inizio del 2024 sono stati introdotti in Svizzera, nell'Ordinanza sui tenori massimi di contaminanti (OCont), dei valori massimi per determinati PFAS considerati prioritari, applicabili a diverse derrate alimentari di origine animale (muscolo di pesce, uova, carne, crostacei e molluschi). Le derrate alimentari che non rispettano i tenori massimi potevano essere importate e fabbricate secondo il diritto anteriore sino al 31 luglio 2024 ed essere consegnate ai consumatori fino ad esaurimento delle scorte.

Per le acque sotterranee, superficiali o di scarico, per il suolo e per la gestione dei rifiuti non sono ancora disponibili in Svizzera dei valori massimi o di riferimento.

3. Valutazioni tossicologiche ed ecotossicologiche

Nel 2020, l'Autorità europea per la sicurezza alimentare (EFSA) ha aggiornato la valutazione dei rischi per la salute dovuti alla presenza di PFAS negli alimenti, inclusa l'acqua potabile. In quest'ambito è stato ridefinito il valore tossicologico di riferimento – la cosiddetta dose settimanale tollerabile (*tolerable weekly intake*, TWI), quantità che non dovrebbe causare effetti avversi per la salute degli esseri umani in caso di assunzione prolungata (per tutta la vita). L'EFSA ha fissato il TWI come somma di quattro PFAS (PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS) alla concentrazione di 4.4 ng per chilogrammo di peso corporeo a settimana.

La direttiva 2013/39/UE del Parlamento europeo e del consiglio riguardante le sostanze prioritarie nel settore della politica delle acque definisce gli standard di qualità ambientale (SQA, corrispondenti ai valori soglia che non devono essere superati per mantenere un buono stato chimico) per le acque superficiali e, per alcuni composti, per il biota.

Analogamente, il Centro di ecotossicologia di Dübendorf (Oekotoxzentrum, Cantone Zurigo) aggiorna regolarmente i criteri ecotossicologici per le acque superficiali, sia per un'esposizione acuta (MAC) che cronica (AA). Attualmente, per il PFOS queste concentrazioni ammontano rispettivamente a 36'000 ng/L (MAC) e 2 ng/L (AA).

4. Programma di monitoraggio

Per comprendere l'estensione della contaminazione da PFAS in Ticino sono stati presi in considerazione diversi comparti ambientali quali (i) suoli, (ii) acque superficiali, (iii) acque sotterranee, (iv) fauna ittica, (v) acque sotterranee e di percolato presso alcune discariche. È stato inoltre investigato il possibile impatto sulle derrate alimentari, in particolare l'acqua potabile. Per questi comparti ambientali sono stati utilizzati pacchetti analitici diversi.

5. Monitoraggio PFAS in Cantone Ticino

5.1 Suolo

In diversi suoli del Cantone sono stati ricercati tre (PFOS, PFOA, PFHxS) o undici (PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFBS, PFHxS, PFOS) composti della famiglia dei PFAS allo scopo di determinarne la contaminazione di fondo. Le concentrazioni misurate, con i dettagli dei punti di campionamento, sono riportate nella Tabella S1 (tre composti) e nella Tabella S2 (undici composti) del capitolo 8 (Allegati). I prelievi sono stati eseguiti nel periodo compreso tra il 2020 e il 2024.

I PFAS nel suolo possono essere presenti a seguito di, almeno, due tipologie di apporti: (i) contaminazione diffusa, risultante dal trasporto atmosferico; (ii) contaminazione puntuale da fonti di rilascio di PFAS ipotizzate o accertate (per esempio a seguito dell'impiego di fanghi di depurazione, di schiumogeni estinguenti, o a seguito di apporto di materiali o suoli inquinati). La molecola di PFOS è quella rinvenuta in concentrazioni maggiori, per la quale è stata riscontrata una contaminazione di fondo ubiquitaria, con concentrazioni che variano da 1 µg/kg fino a 200 µg/kg e un valore mediano di 1.75 µg/kg (Figura 1). Il 79% (64/81) delle analisi eseguite presentano concentrazioni di PFOS < 5 µg/kg, il 12% (10/81) concentrazioni tra 5 e 10 µg/kg e il 9% (7/81) concentrazioni > 10 µg/kg. Per questi ultimi, i prelievi sono stati eseguiti in terreni agricoli sui quali sono stati applicati in passato fanghi provenienti dagli impianti di depurazione delle acque (IDA), pratica ammessa in Svizzera prima del 2006. Appare quindi che, almeno in determinati casi, tali fanghi abbiano funto in passato da fonte puntuale di PFAS, ipotesi che è suffragata da risultati simili ottenuti in altri Cantoni [11], nonostante al momento non sia possibile escludere altre fonti. Altri due composti, PFOA e PFHXS, sono stati ritrovati con frequenza e concentrazioni minori (da 0.1 a 1 µg/kg). In tre terreni del Sottoceneri, per i quali è accertato l'uso passato di fanghi di depurazione locali, sono state rilevate concentrazioni significative di tre composti: l'acido perfluorononanoico (PFNA) tra 1.3 µg/kg e 4.4 µg/kg, l'acido perfluorodecanoico (PFDA) tra 5.4 µg/kg e 18 µg/kg e l'acido perfluoroundecanoico (PFUnDA) tra 1.9 µg/kg e 9.4 µg/kg (Tabella S2). Come riportato in uno studio pubblicato nel 2012 [12] gli stessi composti furono ritrovati analizzando i fanghi di depurazione prodotti dall'IDA in questione, a sostegno della tesi per cui lo spargimento passato di fanghi di depurazione abbia contribuito all'inquinamento rilevato.

Se determinati valori elevati di PFAS possono essere associati a fonti puntuali, la diffusa contaminazione di fondo (PFOS ~2 µg/kg) è verosimilmente riconducibile ad un trasporto atmosferico.

Le analisi eseguite in Ticino e i risultati ottenuti per il suolo sono in linea con le concentrazioni rinvenute in una recente indagine condotta dalla Scuola Universitaria Professionale di Zurigo (ZHAW) e da Agroscope su incarico della Confederazione [13]. Anche in questo studio il composto PFOS è stato quello maggiormente ritrovato nei suoli analizzati, con l'80% dei terreni investigati che presentano una concentrazione tra 0.5 e 4.1 µg/kg.

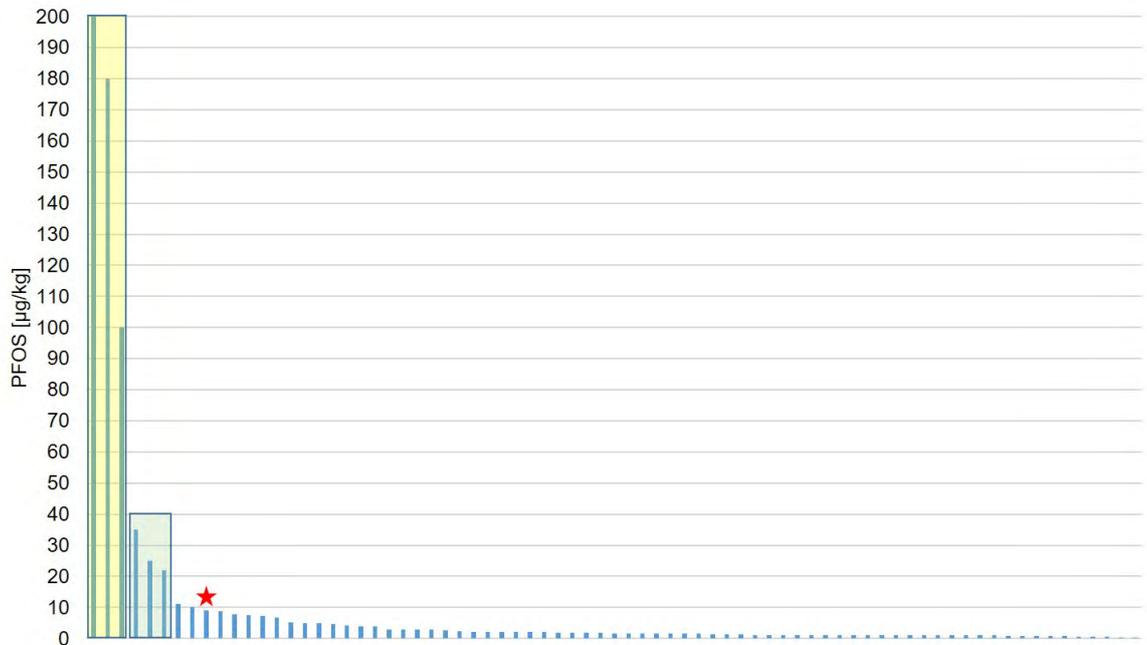


Figura 1

Concentrazione di PFOS misurata nei campioni di suolo prelevati in Ticino. Ogni barra indica la concentrazione di una singola analisi. I tre risultati evidenziati in giallo (100 – 200 µg/kg) provengono da un unico campo agricolo, così come i tre risultati evidenziati in verde (22 – 35 µg/kg). Il campione marcato con la stella rossa (conc. PFOS 9 µg/kg) corrisponde invece alla media di 28 misure eseguite presso un'unica azienda agricola.

Il risultato evidenziato nella Figura 1 con la stella rossa si riferisce a una concentrazione media di PFOS di 9 µg/kg, risultante da più analisi singole sul medesimo sedime. In questo caso, l'esecuzione di ulteriori approfondimenti ha permesso di mostrare notevoli differenze in funzione del punto di prelievo, con concentrazioni massime e minime pari a, rispettivamente, 25 µg/kg e 1.6 µg/kg (deviazione standard 7.5 µg/kg). Questi risultati mostrano una certa difficoltà nell'ottenere campioni rappresentativi per la matrice suolo.

Presso i terreni risultati più contaminati sono stati eseguiti ulteriori accertamenti da parte del LC. Le analisi svolte su quanto coltivato nel corso del 2024, in particolare frumento e mais destinato alla produzione di foraggio, hanno mostrato minime tracce di PFOS (< 0.1 µg/kg) unicamente nei vegetali prodotti sui due campi più contaminati (concentrazione di PFOS nel suolo >20 µg/kg). Attualmente la legislazione non prevede tenori massimi per i PFAS in prodotti vegetali destinati all'alimentazione umana o animale. Le analisi del latte delle mucche alimentate con il foraggio in questione hanno mostrato residui di PFOS inferiori al valore indicativo stabilito dalla Raccomandazione (UE) 2022/1431 di 0.02 µg/L. Di conseguenza, allo stato attuale non emergono criticità significative per i prodotti provenienti dai terreni agricoli con elevate concentrazioni di PFOS. Visto che le informazioni circa l'accumulo dei PFAS nei prodotti vegetali e il loro potenziale bioaccumulo nella catena alimentare sono ancora scarse, sarà necessario continuare a sorvegliare, in collaborazione con i gestori, il tenore di PFAS nei diversi prodotti agricoli provenienti da questi campi.

5.2 Acque superficiali del Lago Ceresio

Nell'ambito della campagna CIP AIS 2021 sono state misurate le concentrazioni di PFAS lungo la colonna d'acqua del Lago Ceresio in quattro stazioni di prelievo presso Ponte Tresa, Figino, Melide e Gandria [14]. Per l'analisi è stato scelto un pacchetto esteso di composti PFAS, comprendente 5 molecole a catena corta (PFBA, PFPA, PFHxA, PFBS, PFPeS) e 15 a catena lunga (PFHpA, PFOA, PFHxS, PFOS, PFNA, PFDA, PFUnA, PFDoA, PFHpS, PFDS, PFOSA, H2PFDA, H4PFUnA, H4PFOS). Il 60% delle molecole a catena corta sono state ritrovate (3 su 5: PFBA, PFPA, PFHxA) e di queste il PFBA (acido perfluorbutanoico) è risultato presente in concentrazioni significativamente superiori ad altri PFAS (massimo di 56 ng/L). Sempre più utilizzate per sostituire molecole a catena lunga, PFAS a catena corta come appunto il PFBA presentano un'elevata mobilità nell'ambiente [15].

Per le molecole a catena lunga, sono state rilevate il 27% di quelle ricercate (4 su 15: PFHpA, PFOA, PFHxS, PFOS). Tra queste, i residui di PFOS e PFOA sono apparsi chiaramente superiori rispetto alle altre sostanze a catena lunga ricercate (Figura 2).

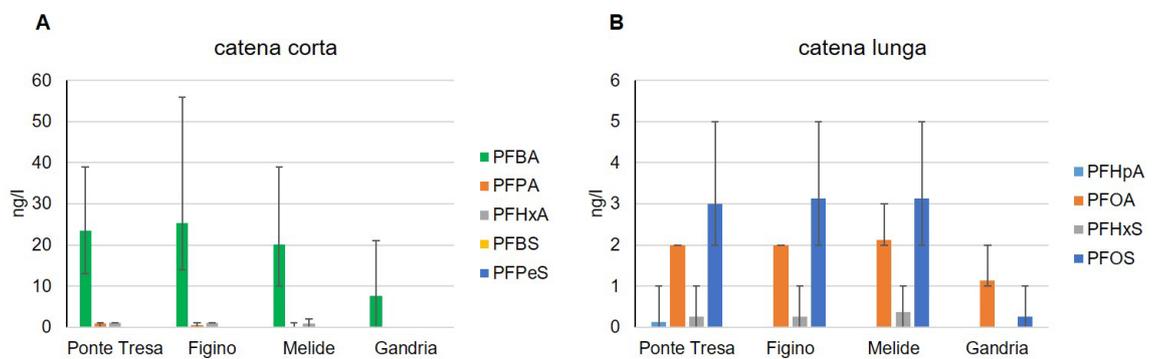


Figura 2

Concentrazione di PFAS a catena corta (A) e a catena lunga (B) rilevate presso le stazioni di campionamento di Ponte Tresa, Figino, Melide, Gandria (campagna CIP AIS 2021, Ref. [14]).

5.3 Acque sotterranee

Il comparto delle acque sotterranee è stato approfondito analizzando campioni provenienti da 48 stazioni di prelievo (pozzi o piezometri, 28 nel Sottoceneri, 20 nel Sopraceneri, periodo 2020 - 2021) e considerando le sostanze PFBS, PFDA, PFHpA, PFHxA, PFHxS, PFNA, PFPeA, PFOA, PFOS. I risultati ottenuti sono raccolti nella Tabella S3 del capitolo 8 (Allegati). Analogamente a quanto osservato per il suolo (capitolo 5.1), la molecola di PFOS è quella più frequentemente ritrovata nelle anche nelle acque sotterranee, segnatamente in 10 punti del Sottoceneri (36% dei punti di prelievo, concentrazioni da 30 ng/L a 6'200 ng/L) e in 3 punti del Sopraceneri (15% dei punti di prelievo, concentrazioni da 220 ng/L a 310 ng/L). La Figura 3 illustra i residui di PFOS rispettivamente rinvenuti.

Seguono il composto PFHxS con 9 punti di prelievo positivi nel Sottoceneri (concentrazioni da 20 ng/L a 300 ng/L) e uno nel Sopraceneri (40 ng/L), PFOA con 7 ritrovamenti nel Sottoceneri (concentrazioni da 20 ng/L a 50 ng/L) e 2 nel Sopraceneri (conc. 80 ng/L), PFHxA con 4 prelievi positivi nel Sottoceneri (concentrazioni da 30 ng/L a 50 ng/L) e PFBS con 3 prelievi positivi nel Sottoceneri (concentrazioni da 30 ng/L a 80 ng/L).

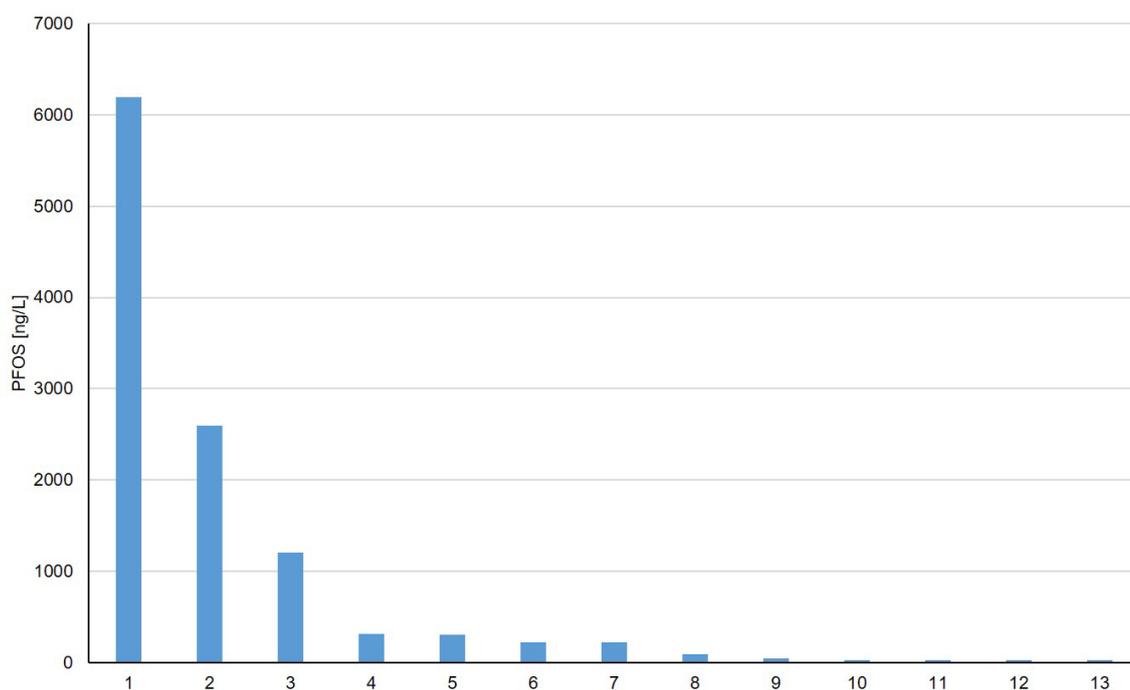


Figura 3

Concentrazione di PFOS nei 13 punti positivi rinvenuti nelle acque sotterranee in Ticino (10 Sottoceneri e 3 Sopraceneri). Le concentrazioni superiori a 1000 ng/L (punti 1-3) sono legate alla contaminazione della falda che alimenta il pozzo Prà Tiro a Chiasso.

Da questi dati l'acqua di falda risulta maggiormente contaminata nel Sottoceneri, un dato che è fortemente influenzato dalla presenza di PFOS nella falda di Chiasso che alimenta il pozzo Prà Tiro. Si tratta di un inquinamento conosciuto e causato dall'infiltrazione di schiumogeni impiegati in passato per la lotta agli incendi. Attualmente, la problematica è gestita trattando l'acqua greggia per mezzo di appositi filtri a carbone attivo prima dell'immissione in rete.

5.4 Acque sotterranee e di percolato di discariche e depositi

Verosimilmente, in passato, determinati materiali sono stati depositati nelle discariche senza la consapevolezza di un'eventuale presenza di PFAS. Le acque sotterranee, che circolano nelle vicinanze o ai margini degli impianti di discarica, possono essere influenzate dal dilavamento di sostanze contenute nel materiale depositato. Per discariche che non dispongono di comparti impermeabili (per es. le discariche tipo B), è possibile l'infiltrazione di acque meteoriche contaminate nella falda sotterranea.

La presenza di PFAS nei rifiuti depositati è confermata da primi risultati qui discussi, come pure da altre indagini condotte in altri cantoni. Per esempio, nelle acque di percolato (Figura 4) le concentrazioni di PFAS, espresse come Σ PFASBafu9W (somma di nove sostanze), variano da 86 ng/L fino a 2'886 ng/L.

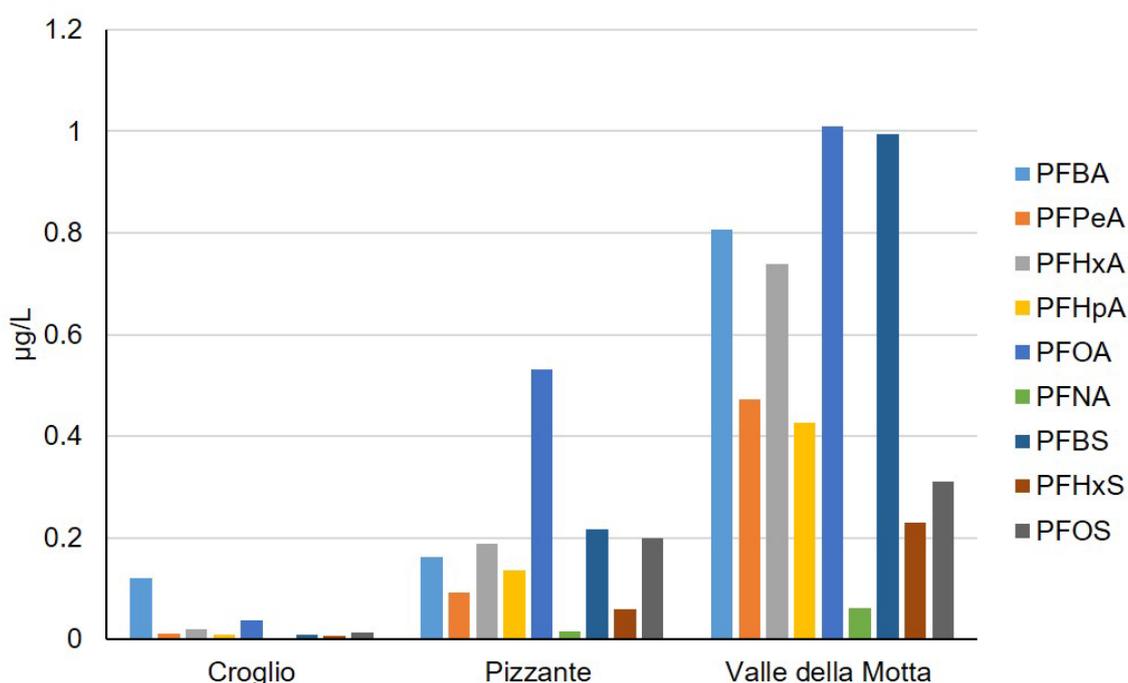


Figura 4

Concentrazione di composti PFAS quantificati nelle acque di percolazione delle discariche di Croglia, Pizzante, Valle della Motta. I risultati si riferiscono ad una singola analisi di percolato condotta nel corso del 2022.

È in corso una campagna di monitoraggio relativa alla qualità delle acque sotterranee nei pressi delle discariche. I primi risultati ottenuti indicano in determinate situazioni un probabile dilavamento di PFAS dal materiale depositato, con concentrazioni variabili da 1 ng/L a 200 ng/L per singolo composto e massimi di 350 ng/L (espressi come Σ PFASBafu9W). Per ottenere un quadro più robusto della situazione sono necessari ulteriori misurazioni, motivo per cui le discariche cantonali sono ora monitorate a scadenza regolare.

Un caso particolarmente rilevante di contaminazione da PFAS è emerso nel corso di rilievi eseguiti presso il comparto della Galleria di base ferroviaria del Ceneri (GBC). Le indagini effettuate dapprima presso il deposito ex AlpTransit di Sigirino e in seguito al portale nord (in zona Vigana)

della GBC hanno permesso di stabilire che almeno una tipologia di materiale da costruzione utilizzato nella realizzazione dell'opera è all'origine della presenza di PFAS nell'acqua che fuoriesce dai due versanti del tunnel, con conseguente infiltrazione in falda [16]. Sulla scorta delle prime analisi che hanno permesso di determinare l'origine della contaminazione, gli enti interessati (in particolare il Laboratorio cantonale, il gestore dell'infrastruttura ferroviaria e i Comuni di Capriasca e Sant'Antonino, proprietari questi ultimi dei due pozzi di captazione) hanno avviato campagne di monitoraggio di acque di drenaggio, sotterranee e dell'acqua potabile, visto l'interessamento delle falde di captazione.

5.5 Acqua potabile e acqua greggia utilizzata a scopo potabile

Il Laboratorio cantonale esegue diverse attività di sorveglianza dei PFAS nelle acque potabili e gregge utilizzate a scopo potabile del Cantone.

Annualmente viene monitorata la presenza, oltre che dei PFAS attualmente regolamentati nell'OPPD (PFOS, PFOA e PFHxS), anche di altri PFAS di interesse in tutte le falde dalle quali si emunge acqua a scopo potabile e dalle captazioni a lago (Ceresio). La presenza quantificabile di PFAS (≥ 5 ng/L) viene riscontrata mediamente nel 40-45% dei campioni. Nella maggior parte di questi casi, si tratta di valori quasi sempre in tracce, molto inferiori agli attuali limiti di legge. L'unica eccezione è rappresentata dal già menzionato caso del pozzo Prà Tiro di Chiasso, dove sono stati misurati tenori di PFOS superiori a 300 ng/L e per il quale un impianto di trattamento a carboni attivi assicura la conformità dell'acqua distribuita in rete. Per quanto riguarda gli altri PFAS ricercati per i quali l'OPPD non prevede attualmente valori limite, si segnala in particolare il PFBA, rilevato in circa il 20% dei campioni. Nel già citato caso di Sant'Antonino, la sua concentrazione supera i 100 ng/L, limite previsto per la "somma di 20 PFAS" nel Regolamento UE 2020/2184. L'azienda acqua potabile sta attualmente provvedendo ad installare un impianto di filtrazione per ridurre il livello di PFBA al di sotto dei nuovi valori di legge allineati a quelli dell'Unione Europea che entreranno probabilmente in vigore a partire dal 2026. In altri 4 casi il valore per la "somma di 20 PFAS" è vicino al futuro limite. Questi casi sono attualmente in corso di approfondimento con le aziende coinvolte.

I PFAS rilevati con maggior frequenza e i tenori massimi osservati nelle 67 acque di falda analizzate nel 2024 sono riportati nel grafico in Figura 5.

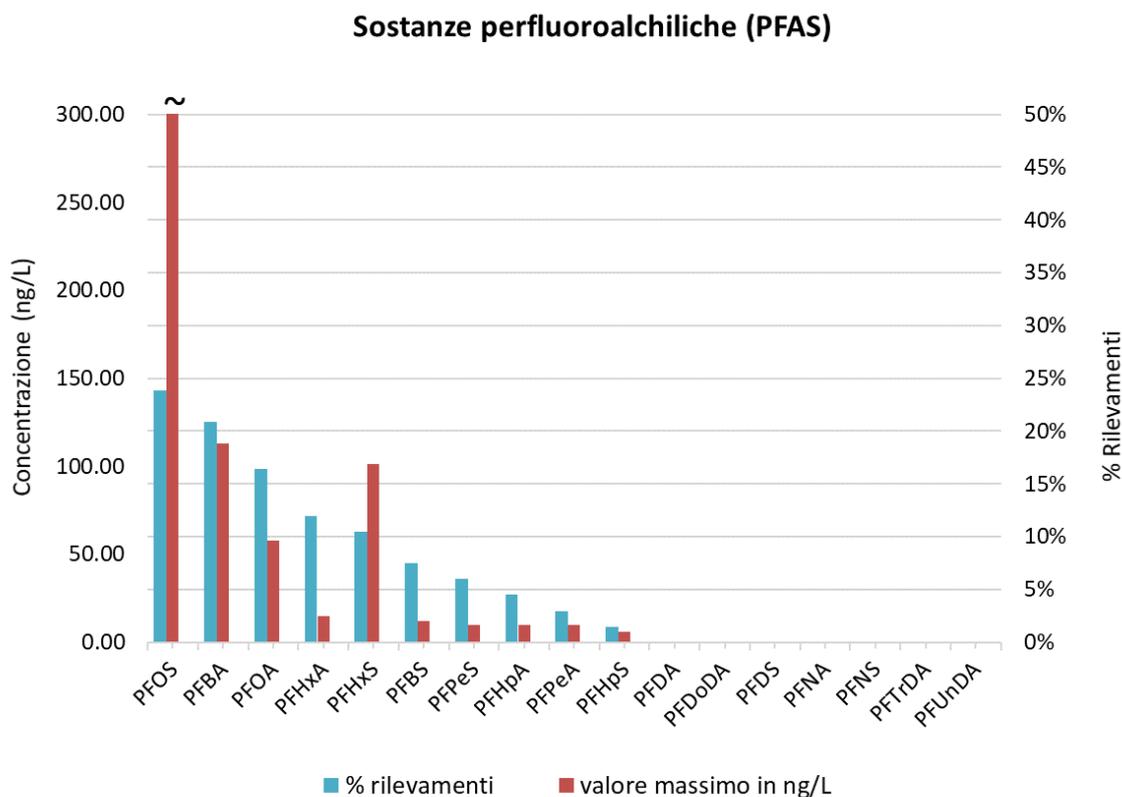


Figura 5
Concentrazione (in ng/L) e % di rilevamento per i diversi congeneri PFAS analizzati per l'acqua potabile e l'acqua greggia utilizzata a scopo potabile.

La situazione descritta è basata su misurazioni eseguite sull'acqua di falda, prima di eventuali trattamenti o miscelazioni. L'acqua in rete è stata invece controllata nell'ambito della campagna nazionale sulla presenza di PFAS nell'acqua potabile condotta a livello svizzero dall'Associazione dei chimici cantonali svizzeri nel 2023. In occasione di questa campagna, in Ticino erano stati prelevati 24 campioni d'acqua potabile in rete di distribuzione a copertura di circa il 57% della popolazione. 7 campioni (29%) erano risultati esenti da residui di PFAS. Nessun campione di acqua potabile ticinese aveva mostrato un superamento degli attuali valori di legge, ma in 2 casi (8%), Sant'Antonino e Capriasca (quest'ultimo oggi rientrato), è stato superato il valore massimo di 100 ng/L della direttiva UE 2020/2184 per la "somma di 20 PFAS", a causa in particolare del contenuto di PFBA. Una valutazione tossicologica eseguita dall'Ufficio federale della sicurezza alimentare e di veterinaria (USAV) ha escluso che per l'acqua potabile queste concentrazioni possano rappresentare un rischio per la salute.

Nel 2024 è stata inoltre ricercata la possibile presenza di PFAS in 26 campioni di acqua proveniente da sorgenti utilizzate per la produzione di acqua potabile e considerate a rischio di inquinamento a causa ad esempio della loro prossimità a insediamenti urbani, strade, attività agricole, ecc. In un unico campione è stata rilevata la presenza di PFOS a basse concentrazioni (10 ng/L).

5.6 Analisi di PFAS nella fauna ittica

5.6.1 Pesci di lago

Nel corso del 2024 il Laboratorio cantonale, in collaborazione con la Sezione della protezione dell'aria, dell'acqua e del suolo, ha eseguito uno studio volto a fornire una panoramica della contaminazione da PFAS dei pesci presenti nei laghi Verbano e Ceresio. È importante sottolineare che i pesci qui analizzati, pescati dai laghi ai fini dello studio, non rappresentano campioni ufficiali prelevati dal mercato e quindi non sottostanno direttamente alle disposizioni della Legge federale sulle derrate alimentari e gli oggetti d'uso (LDerr).

Alcuni campioni, corrispondenti a ciascun punto e giorno di pesca, sono stati ottenuti omogeneizzando un pool di pesci, mentre altri sono stati ottenuti dall'omogeneizzazione del filetto di un singolo pesce. In totale sono stati analizzati 203 campioni (117 dal Verbano e 86 dal Ceresio), per un totale di 495 pesci catturati. Il composto predominante è risultato essere il PFOS, riscontrato a concentrazioni variabili da 1.5 µg/kg a 65 µg/kg in tutti i campioni analizzati. Altri composti rilevabili, a quantità nettamente inferiori sono stati il PFDA (da "non rilevabile" (n.r) a 8.4 µg/kg, 199 rilevamenti), il PFNA (da "n.r" a 0.8 µg/kg) e il PFUnDA (da "n.r." a 6.4 µg/kg). La Tabella 1 offre una visione d'insieme dei composti rilevati:

Tabella 1

Riassunto dei rilevamenti per i diversi congeneri investigati nei pesci analizzati, con valore medio e rispettivo valore minimo e massimo misurato [µg/kg].

	PFDA	PFHpA	PFHpS	PFHxS	PFNA	PFNS	PFOA	PFOS	PFPeS	PFUnDA
Rilevamenti (su 203)	199	1	4	3	62	n.r	n.r	203	n.r	197
Min (µg/kg)	n.r	n.r	n.r	n.r	n.r	n.r	n.r	1.5	n.r	n.r
Max (µg/kg)	8.4	0.3	0.1	0.1	0.8	n.r	n.r	65	n.r	6.4
Media (µg/kg)	2.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	24.7	0.0	1.0

La cattura dei pesci nel Verbano si è focalizzata su 7 specie (pesce persico, agone, coregone, luccio, lucioperca, trota e gardon), pescate in 5 punti del lago in diversi periodi dell'anno. Il numero di campioni per specie è riportato nella Figura 6.

Ripartizione dei campioni (Verbano)

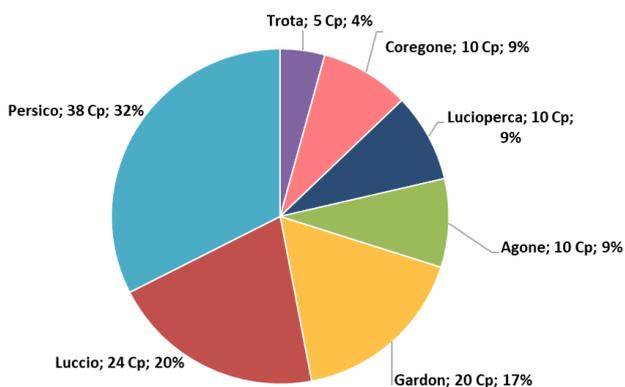


Figura 6

Ripartizione dei campioni con il numero di esemplari, e la relativa percentuale, analizzati per il lago Verbano.

Una visione d'insieme dei risultati relativi al tenore di PFOS misurati nei campioni di ciascuna specie ittica del lago Verbano, è riportata nella Tabella 2 e nel grafico di Figura 7.

Tabella 2

Concentrazione media e concentrazione mediana di PFOS [$\mu\text{g}/\text{kg}$] (e relativa deviazione standard, valore massimo e valore minimo) per le sette specie di pesci analizzati nel lago Verbano.

Specie	Nr. campioni	Media ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Mediana ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Dev. Std. ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Max ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Min ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
Agone	10	37.7	35.2	7.1	50.9	26.5
Coregone	10	13.1	12.0	6.3	23.4	4.9
Gardon	20	8.7	6.0	5.9	20.3	1.5
Luccio	24	10.1	8.1	6.6	29.9	2.1
Lucioperca	10	19.7	20	4.1	25.9	13.2
Persico	38	45.0	43.0	9.1	65.0	28.9
Trota	5	25.6	29.2	11.6	39.3	10.0

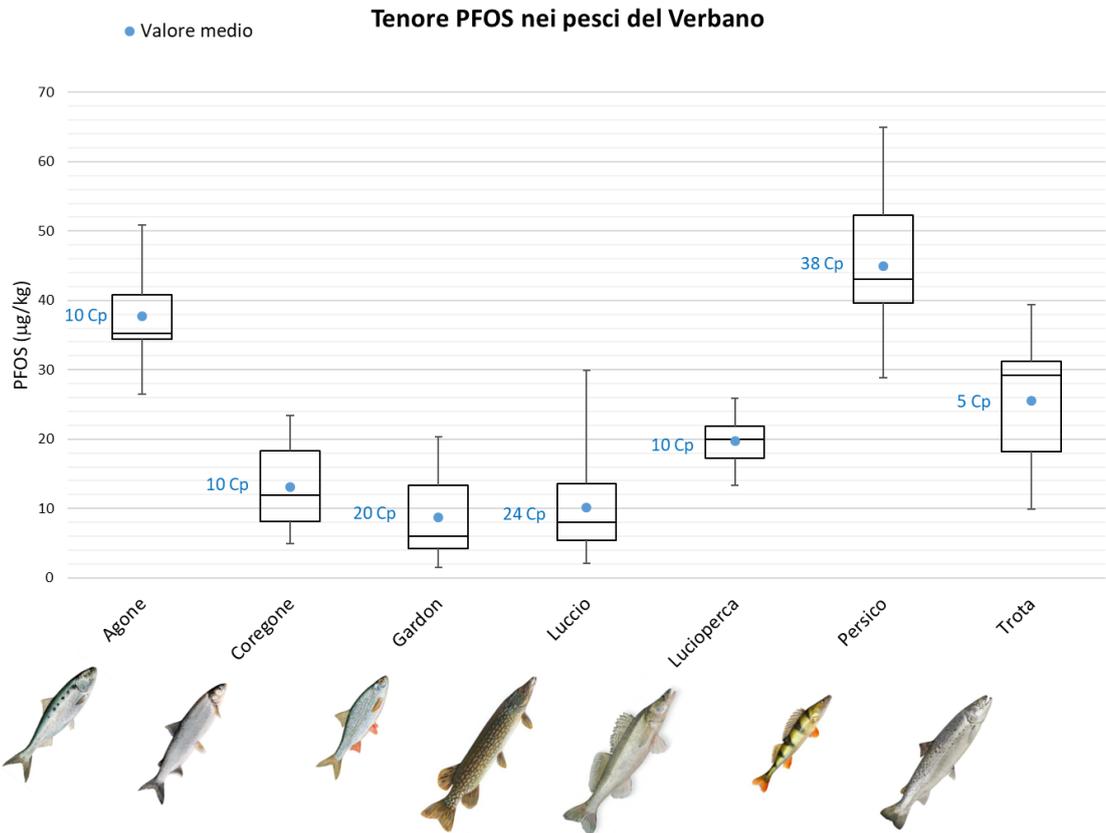


Figura 7

Box plot relativo al tenore di PFOS [$\mu\text{g}/\text{kg}$] misurato nei pesci del Verbano. Il punto blu mostra la concentrazione media, il box quantile (rettangolo) rappresenta il livello dove si situano il 25%, rispettivamente il 50% e il 75% dei dati, e i "baffi" (barre) la concentrazione massima e minima misurata.

Per quanto riguarda il lago Ceresio, la cattura dei pesci ha compreso diverse specie, periodi e punti di cattura. Il numero di campioni per specie è riportato nella Figura 8.

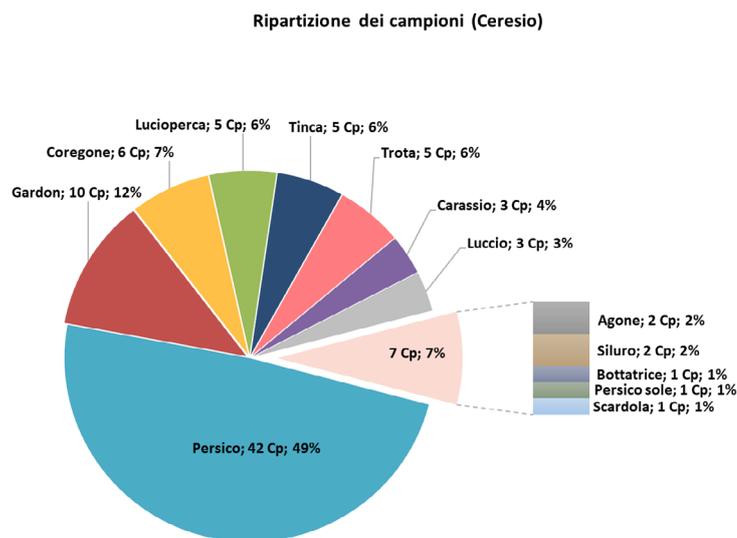


Figura 8

Ripartizione dei campioni con il numero di esemplari, e la relativa percentuale, analizzati per il Lago Ceresio.

Una visione d'insieme dei risultati relativi al tenore di PFOS misurati in nei campioni di ciascuna specie ittica del lago Ceresio, è riportata nella Tabella 3 e nel grafico in Figura 9.

Tabella 3

Concentrazione media e concentrazione mediana di PFOS [$\mu\text{g}/\text{kg}$] (e relativa deviazione standard, valore massimo e valore minimo) per le specie di pesci analizzati nel lago Ceresio.

Specie	Nr. campioni	Media ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Mediana ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Dev. Std. ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Max ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Min ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
Agone	2	16.0	16.0	-	17.1	14.9
Bottatrice	1	2.0	2.0	-	2	2
Carassio	3	4.1	4.3	0.6	4.5	3.5
Coregone	6	5.5	3.2	5.6	16.9	2.5
Gardon	10	11.1	12.1	6.4	20.2	3.6
Luccio	3	12.3	15.2	6.3	16.6	5.1
Lucioperca	5	18.4	15.8	10.8	36.8	8.4
Persico	42	37.8	39.3	11.9	58.0	4.9
Persico sole	1	11.4	11.4	-	11.4	11.4
Scardola	1	2.7	2.7	-	2.7	2.7
Siluro	2	7.8	7.8	-	10.2	5.3
Tinca	5	3.4	3.4	2.3	7	1.5
Trota	5	20.5	24.5	8.8	27.5	7.1

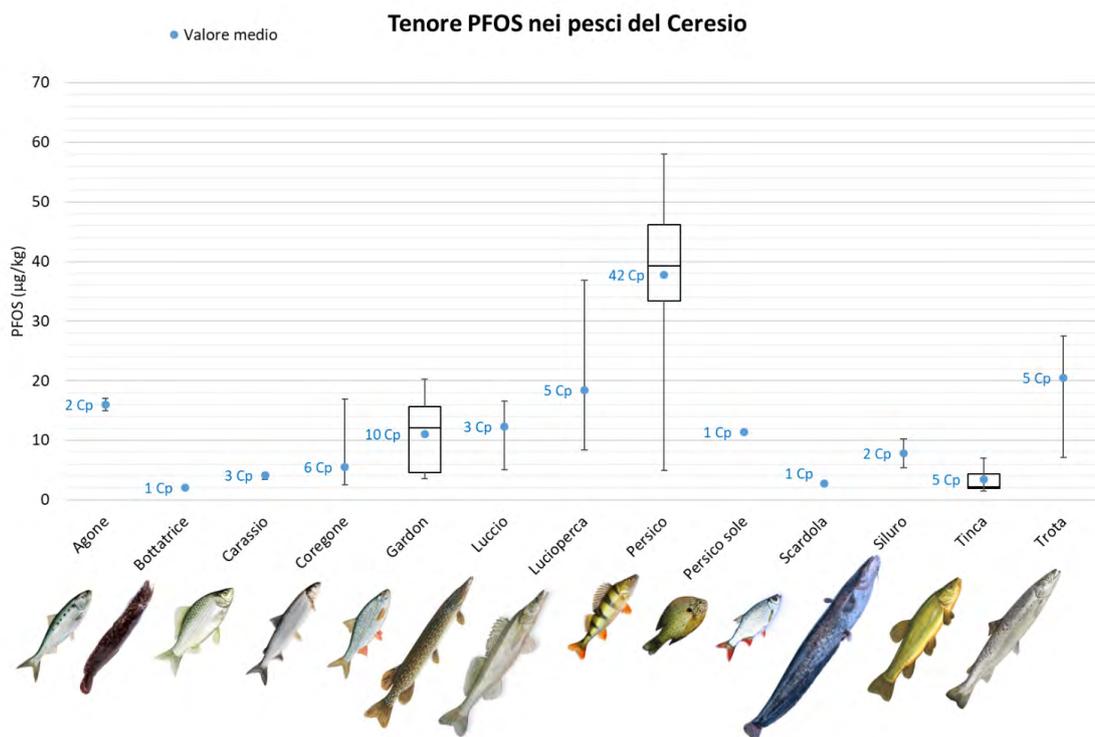


Figura 9

Box plot relativo al tenore di PFOS [$\mu\text{g}/\text{kg}$] misurato nei pesci del Ceresio. Il punto blu mostra la concentrazione media, il box quantile (rettangolo) rappresenta il livello dove si situano il 25%, rispettivamente il 50% e il 75% dei dati, e i "baffi" (barre) la concentrazione massima e minima misurata.

I dati qui presentati, come riportato nella Figura 10 sottostante per le specie ittiche principali, evidenziano un disegno simile fra i due laghi, con il pesce persico quale specie con tenore di PFOS più alto. La concentrazione relativa nelle differenti specie di pesce è coerente con i risultati riportati da studi analoghi svolti in altri cantoni e della CIP AIS [9, 10]. A dipendenza della specie, i pesci accumulano in maniera diversa queste sostanze nella propria carne.

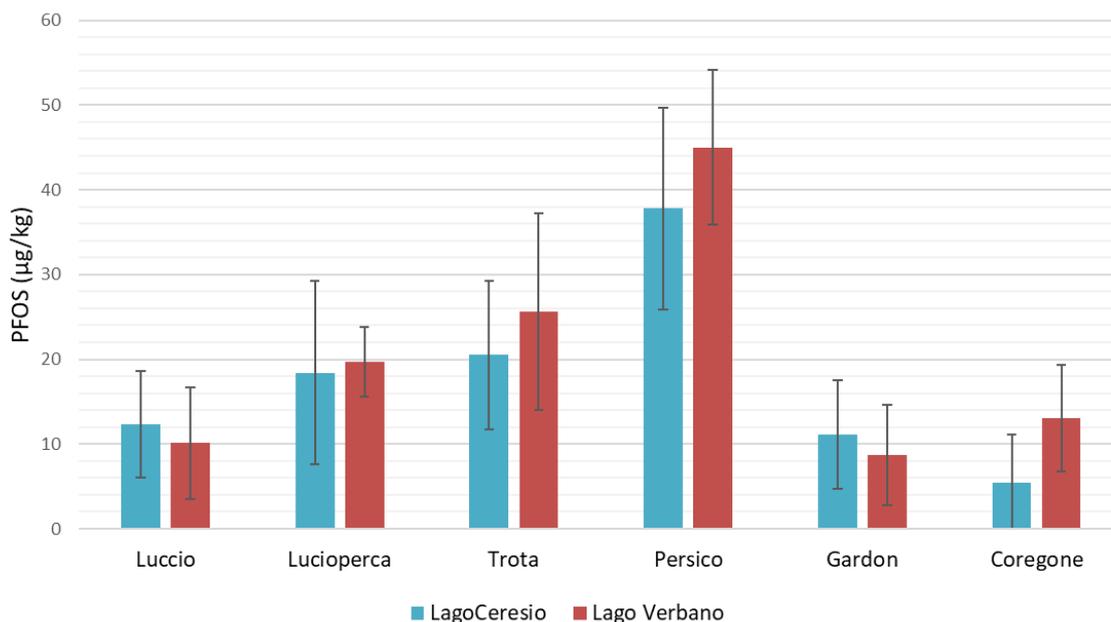


Figura 10

Comparazione relativa alla concentrazione media di PFOS [$\mu\text{g}/\text{kg}$] misurata in sei specie di pesci analizzati nel Lago Ceresio (blu) e Lago Verbano (rosso). La barra indica la deviazione standard.

È importante sottolineare che questi dati si riferiscono ad unico anno di monitoraggio e che per alcune specie ittiche il numero di campioni analizzati è relativamente basso. È dunque necessario eseguire ulteriori approfondimenti per confermare i risultati, così come per valutare eventuali contributi sul tenore di PFOS di variabili quali, in particolare, il periodo e il luogo di pesca. Da una prima valutazione dei dati, come osservato anche in altri studi [10, 17], non si evince una correlazione fra le dimensioni dei pesci e il tenore di PFOS nel filetto.

In letteratura è riportato che le interiora del pesce contengono una più alta concentrazione di PFAS rispetto al filetto [18]. Questo è stato osservato anche nel presente studio, dove sono stati analizzati due campioni di interiora di pool di pesce persico del Verbano (concentrazione di PFOS di $146.6 \mu\text{g}/\text{kg}$ e $100.7 \mu\text{g}/\text{kg}$) e del Ceresio (concentrazione di PFOS di $229.8 \mu\text{g}/\text{kg}$ e $154.3 \mu\text{g}/\text{kg}$). È dunque importante raccomandare sempre di pulire bene il filetto dalle viscere prima di consumarlo.

I pesci qui analizzati, essendo dei campioni ambientali, non rientrano nel campo di applicazione della LDerr, la quale si applica alle derrate alimentari immesse sul mercato. Sempre tenendo conto dei limiti dello studio citati in precedenza, i dati qui presentati possono essere utilizzati per identificare quelle specie per le quali sono ipotizzabili delle criticità circa il rispetto dei limiti previsti dall'Ordinanza dei contaminanti (OCont) in caso di immissione sul mercato. È importante tenere in considerazione che, per quanto riguarda i pesci, il tenore massimo di PFAS previsto dal Regolamento europeo 2022/2388 e dall'OCont varia in base alla specie, con differenze relativamente grandi. Ad esempio per il filetto di persico, il tenore massimo di PFOS è pari a $35 \mu\text{g}/\text{kg}$, per il luccio e la trota $7 \mu\text{g}/\text{kg}$. Per l'agone non è definito un valore specifico e pertanto si applica il tenore massimo di $2 \mu\text{g}/\text{kg}$ previsto per "altri pesci". Prendendo in considerazione i tenori massimi di PFOS previsti dall'OCont e i valori medi e massimi per ciascuna specie investigata riportati sopra, è possibile identificare in particolare il persico, il luccio, la trota e l'agone quali specie più problematiche per entrambi i laghi.

In base al principio del controllo autonomo sul quale si basa la LDerr, spetta a chi immette sul mercato una derrata alimentare il compito di garantirne la conformità legale (controllo autonomo). Alla luce dei risultati qui presentati, sarà necessario valutare se alcune specie potranno ancora essere immesse sul mercato, rispettivamente se sarà necessaria una liberazione basata su analisi.

5.6.2 Pesci da corsi d'acqua

Nel corso del 2023 la SPAAS, in collaborazione con l'Ufficio della caccia e della pesca, ha eseguito un'indagine preliminare volta a fornire una panoramica della contaminazione da PFAS dei pesci presenti in diversi fiumi del Cantone (Ticino, Brenno, Breggia, Laveggio, Vedeggio, Cassarate, Magliasina, Maggia). La difficoltà riscontrata nella cattura dei pesci ha limitato l'analisi a un ristretto numero di specie, specificatamente a strigione e trota fario. Per l'analisi dei PFAS considerati (PFOS, PFOA, PFHxS, PFNA, PFHxA, PFHpA, PFBS, PFPeA) si è proceduto omogenizzando un pool di filetti ottenuti da diversi individui (numero variabile, da 3 a 5) della stessa specie, catturati in un determinato luogo. I dettagli sono riportati in Tabella S4 al capitolo 8 (Allegati).

In totale sono stati analizzati 13 campioni di pesci (2 dal fiume Brenno, 2 dal fiume Breggia, 2 dal fiume Laveggio, 2 dal fiume Cassarate, 2 dal fiume Vedeggio, 1 dal fiume Ticino, 1 dal fiume Magliasina e 1 dal fiume Maggia), corrispondenti a 4 pool di strigione e 9 pool di trota fario, per un totale di 56 pesci catturati (18 strigioni e 38 trote fario).

Analogamente a quanto descritto nel capitolo 5.6.1 per i pesci di lago, il composto predominante è risultato essere il PFOS, riscontrato in tutti i campioni analizzati a concentrazioni variabili da un minimo di 0.24 µg/kg a un massimo di 8.94 µg/kg. Altri composti, in quantità nettamente inferiori, sono risultati il PFNA (da 0.005 µg/kg a 0.066 µg/kg, presente in tutti i campioni analizzati), il PFHxA (da "non rilevabile" a 0.25 µg/kg, 4 rilevamenti), il PFHxS (da "non rilevabile" a 0.106 µg/kg, 3 rilevamenti), il PFPeA (da "non rilevabile" a 0.05 µg/kg, 1 rilevamento) e il PFOA (da "non rilevabile" a 0.012 µg/kg, 1 rilevamento).

Una visione dettagliata sulla quantificazione del PFOS suggerisce un bioaccumulo comparabile per le due specie ittiche investigate (Figura 11).

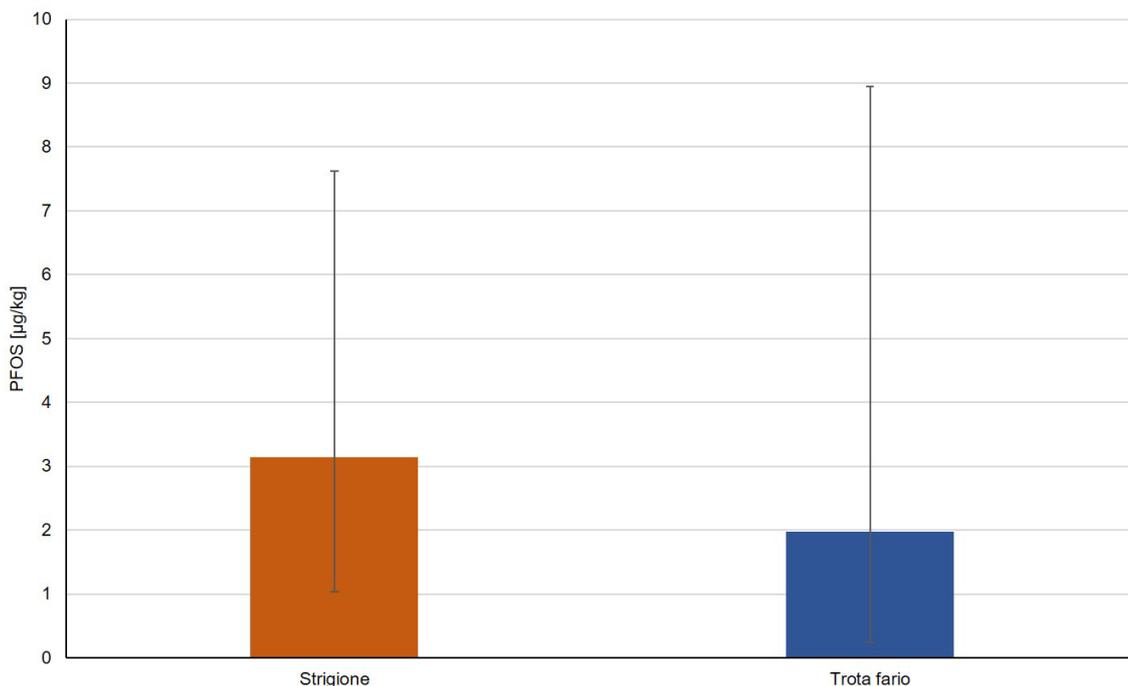


Figura 11

Concentrazione media di PFOS misurata nelle due specie ittiche analizzate nei fiumi, strigione (numero di pool analizzati n = 4) e trota fario (numero di pool analizzati n = 9). La barra di errore indica i valori massimo e minimo misurati.

Il luogo di pesca si conferma come un fattore rilevante per il bioaccumulo di PFAS nei pesci (Figura 12). Sia il campione di strigione (barre arancio), sia il campione di trota fario (barre blu) mostrano concentrazioni di PFOS maggiori presso il punto di prelievo di Lavaggio-Piscine rispetto ad altri luoghi. Nel prossimo futuro, è prevista la ripetizione di queste analisi estendendo l'indagine a corsi d'acqua e luoghi distribuiti in tutto il Cantone, con l'obiettivo di fornire una visione d'insieme maggiormente rappresentativa e robusta.

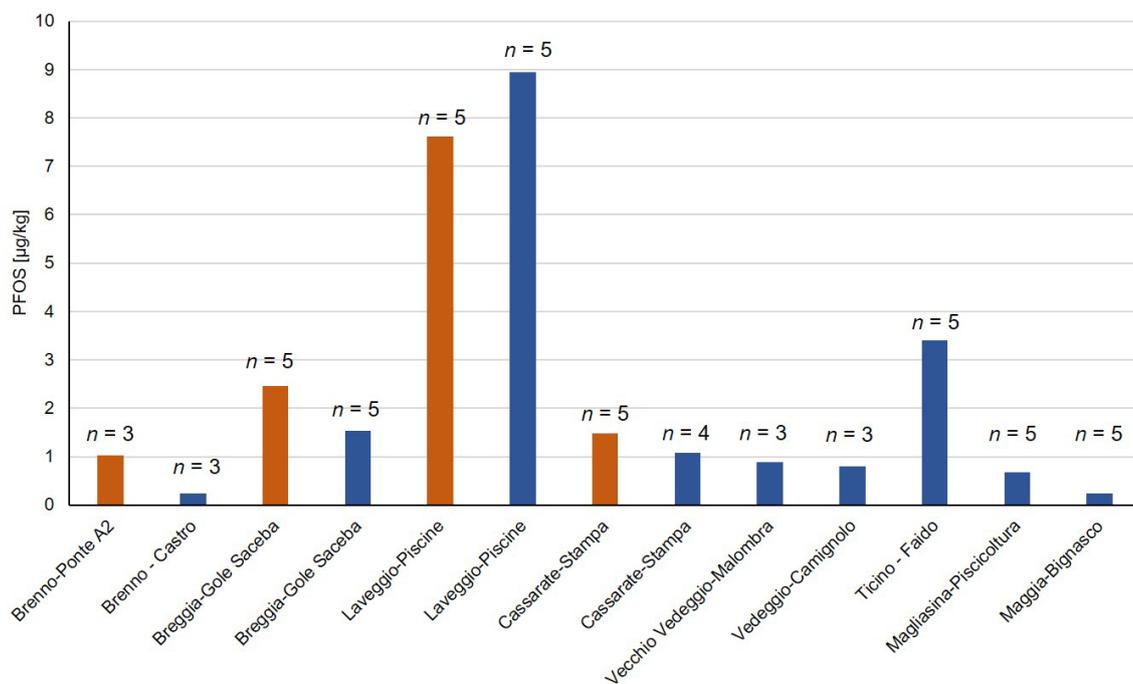


Figura 12

Concentrazioni di PFOS relative ai singoli pool di pesci analizzati per strigione (barre arancio) e trota fario (barre blu) nei diversi punti di cattura. Il numero di individui per pool è riportato sopra ogni barra (n).

6. Discussione

Le analisi eseguite fino a questo momento in Cantone Ticino hanno mostrato una presenza ubiquitaria di composti PFAS in ogni comparto ambientale investigato (acque, suolo, fauna ittica). È opportuno ricordare che questi composti sono esclusivamente di sintesi e il loro ritrovamento nell'ambiente è quindi da ricondurre al rilascio da prodotti e materiali di origine antropica. L'ampio impiego nel tempo di queste sostanze in un'innomerevole tipologia di oggetti e prodotti di uso quotidiano, combinata alla poca consapevolezza del potenziale di rilascio e alla mancanza di una regolamentazione specifica nel passato, hanno inevitabilmente favorito la loro diffusione.

Benché il presente rapporto concentri l'attenzione su matrici ambientali, a riprova della presenza ubiquitaria dei PFAS, si segnala che in una fase pilota dello studio svizzero sulla salute commissionato dall'Ufficio federale della sanità pubblica (UFSP) è stata determinata l'esposizione di base della popolazione svizzera ai PFAS mediante biomonitoraggio [19]. Sono stati esaminati oltre 700 campioni di siero del sangue e in tutti i campioni analizzati sono stati rilevati PFOA, PFHxS e PFOS, con concentrazioni paragonabili a quelle ritrovate in studi simili svolti in Europa e in Canada.

In Svizzera, secondo l'allegato 1.16 dell'ORRPChim è vietata la fabbricazione, l'immissione sul mercato e l'impiego di determinate sostanze appartenenti alla classe dei PFAS (vedi cap. 1 e 2). A livello europeo e svizzero, il dibattito sull'estensione del divieto per ulteriori composti è tutt'ora in corso [20]. In parallelo, sono profusi sforzi nello sviluppo di prodotti alternativi esenti da PFAS. Dal profilo ambientale, la strategia più lungimirante è quella di agire alla fonte riducendo al massimo o eliminando del tutto ogni nuova potenziale emissione di PFAS nell'ambiente.

Secondo il Global PFAS Science Panel [21], una partnership collaborativa tra ricercatori e analisti politici, oltre alla semplice restrizione, l'obiettivo principale dovrebbe essere quello di stabilire un sistema efficace per differenziare tra "uso essenziale" e "uso non essenziale" dei PFAS, lavorando di fatto all'implementazione di un divieto totale per gli utilizzi ritenuti non essenziali, a maggior ragione se sono disponibili alternative funzionali. Diversamente, alcuni usi specifici dei PFAS sono considerati essenziali per il fatto che svolgono funzioni indispensabili e, allo stato attuale, non sono disponibili alternative consolidate. In ogni modo, l'essenzialità nell'uso dei PFAS non è da considerarsi permanente e devono proseguire gli sforzi volti a trovare valide alternative [22].

Le concentrazioni di sottofondo di PFAS rinvenute in Ticino sono in linea con i valori riscontrati in altri cantoni svizzeri. Il suolo risulta essere il comparto ambientale con le concentrazioni più elevate. La natura e la tipologia del suolo (es. contenuto di carbonio organico, tessitura) possono incidere sull'assorbimento di PFAS, con notevoli differenze tra diverse sostanze di questa grande famiglia (es. dovute alla lunghezza della catena di carbonio) [23]. Comprendere la capacità del suolo nell'assorbire composti PFAS, così come il loro successivo assorbimento nei vegetali, sarà perciò importante, anche per valutare eventuali problematiche legate alla sua fruizione e all'utilizzo.

In considerazione dei possibili rischi per la salute, l'esposizione ai PFAS dovrebbe essere ridotta al minimo. Sulla base della valutazione dell'EFSA e dell'introduzione in Europa di tenori massimi per le derrate alimentari e l'acqua potabile, anche la Confederazione ha adottato nuovi limiti. In particolare, per alcuni alimenti di origine animale e determinati composti, da febbraio 2024 sono stati ripresi nell'OCCont i valori massimi stabiliti dalla legislazione europea.

Per contro, sono tutt'ora mancanti dei valori di riferimento applicabili ai diversi comparti ambientali, lacuna che è affrontata al momento da diversi gruppi di lavoro federali, che mirano pure a sviluppare soluzioni adeguate e applicabili per fronteggiare la situazione. Esistono infatti attualmente numerosi problemi di applicazione irrisolti nell'indagine, nella valutazione e nelle modalità di bonifica, nonché nella gestione dei rifiuti.

Il tema è attuale e in continua evoluzione. In Ticino, la presente campagna di monitoraggio implementata dalla SPAAS e dal LC fornisce un primo quadro dell'estensione del problema e getta le basi per seguirne nel tempo l'evoluzione. Gli stessi dati di monitoraggio cantonali verranno arricchiti e messi in rete a livello nazionale, per sviluppare un quadro robusto della contaminazione da PFAS in Svizzera e preparare con cognizione di causa le attività successive.

Per quanto riguarda i pesci sarà necessario completare l'analisi ambientale e verificare la conformità del pescato venduto sul mercato ticinese. Questo sarà eseguito nel corso dell'anno 2025 dal LC all'interno di una campagna nazionale che estenderà l'attenzione più in generale alle derrate alimentari di origine animale, in particolare carne, pesce e uova.

In previsione del previsto adeguamento del valore massimo per i PFAS nell'acqua potabile, sarà necessario assicurarsi che i nuovi limiti siano rispettati in tutta la rete di distribuzione dell'acqua potabile. Anche in questo ambito, proseguiranno quindi i controlli da parte del LC e delle aziende responsabili per la distribuzione dell'acqua potabile (nell'ambito del proprio controllo autonomo).

7. Riferimenti bibliografici

- [1] Glüge J., Scheringer M., Cousins I., DeWitt J., Goldenman G., Herzke D. Lohmann R., Ng C., Trier X, Wang Z. 2020. An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). Environmental Science: Processes & Impacts
- [2] <https://echa.europa.eu/it/-/echa-publishes-pfas-restriction-proposal>
- [3] Evich et al. 2022. Per- and polyfluoroalkyl substances in the environment. Science
- [4] <https://www.efsa.europa.eu/de/efsajournal/pub/6223>
- [5] PFAS in Grundwasser. Kanton Wallis, Medienmitteilung 18.03.2021
- [6] PFAS-Belastung im Kanton St. Gallen, Aqua e Gas N°12, 2022
- [7] Tagblatt. Gefährnisbau in Alstätten verzögert sich um drei Jahre, Entgiftung des Bodens kostet 17 Millionen Franken. 23.09.2021
- [8] Comunicato stampa. PFAS nell'acqua potabile: i risultati più recenti. Associazione dei chimici cantonali svizzeri, 12 ottobre 2023
- [9] CIP AIS, 2016. Lago di Lugano: indagine sulle sostanze pericolose. Contaminanti organici persistenti nella fauna ittica. Rapporto annuale 2015. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere-
- [10] CIP AIS, 2024. Lago di Lugano: indagine sulle sostanze pericolose. Contaminanti organici persistenti nella fauna ittica. Rapporto annuale 2023. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere-
- [11] Kanton St.Gallen. Punktuelle PFAS-Belastung im Nordosten des Kantons. 28.08.2024
- [12] Alder A., van der Voet J. 2012. PFOS und andere perfluorierte organische Verbindungen im Klärschlamm in der Nähe von potenziellen Punktquellen. Schlussbericht einer im Jahr 2011 durchgeführten Messkampagne. Eawag
- [13] Thalmann et al. Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) in Schweizer Böden. Altlasten spektrum 6/2022
- [14] CIP AIS 2022. Lago di Lugano: Indagine sulle sostanze pericolose. Microinquinanti nelle acque del lago. Rapporto annuale 2021. Commissione Internazionale delle Acque Italo-Svizzere
- [15] Brendel et al. 2018. Short-chain perfluoroalkyl acids: environmental concerns and a regulatory strategy under REACH. Environmental Sciences Europe 20: 9
- [16] Comunicato stampa (DT, DSS). 12 ottobre 2023. Sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS) nelle acque di falda ticinesi

- [17] Waldetoft et al. 2024. No evidence of an association between size and levels of four per- and polyfluorinated substances (PFAS) in perch (*Perca fluviatilis*). *Science of Total Environment*. Volume 934, 173124
- [18] Valsecchi et al. 2021. Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Fish from European Lakes: Current Contamination Status, Sources, and Perspectives for Monitoring. *Environmental Toxicology and Chemistry* 40:658-676
- [19] Pilotphase der Schweizer Gesundheitsstudie. Ergebnisse des Humanbiomonitoring, August 2023
- [20] <https://echa.europa.eu/it/-/echa-receives-5-600-comments-on-pfas-restriction-proposal>
- [21] pfassciencepanel.org
- [22] Cousins et al. 2019. The concept of essential use for determining when uses of PFASs can be phased out. *Environmental Science: Processes & Impacts*
- [23] J. Fabregat-Palau et al. 2021. Modelling the sorption behaviour of perfluoroalkyl carboxylates and perfluoroalkane sulfonates in soils. *Science of Total Environment*

8. Allegati

Tabella S1

Dettagli (Comune, Sezione, Fondo, Coordinate) delle concentrazioni dei tre composti appartenenti alla famiglia dei PFAS (PFOS, PFOA, PFHxS) misurati nei campioni di suolo prelevati in Cantone Ticino.

Comune/Sezione	N. fondo	Coordinate (E, N)	PFOS	PFOA	PFHxS
Bellinzona - Sementina	156	2719830, 1115436	2.0	<1	<1
Bellinzona - Giubiasco	381	2720748, 1114422	1.0	<1	<1
Bellinzona	1	2720986, 1115345	1.0	<1	<1
Bellinzona - Giubiasco	185	2719245, 1113897	1.0	<1	<1
Bellinzona - Giubiasco	1214	2721821, 1114999	1.0	<1	<1
Bellinzona - Giubiasco	70	2718891, 1114294	1.0	<1	<1
Bellinzona - Giubiasco	26	2718441, 1113888	1.0	<1	<1
Bellinzona - Giubiasco	90	2719475, 1114445	1.0	<1	<1
Bellinzona - Gudo	118	2717984, 1114313	<1	<1	<1
Bellinzona - Camorino	158	2720476, 1113564	<1	<1	<1
Bellinzona	2908	2721256, 1116810	2.0	<1	<1
Bellinzona - Giubiasco	2808	2718971, 1113983	1.0	<1	<1
Bellinzona - Preonzo	701	2720908, 1124135	0.6	0.3	<0.1
Bellinzona - Preonzo	1057	2720869, 1123198	1.5	0.6	<0.1
Bellinzona	816	2721768, 1116135	1.6	0.7	<0.1
Bellinzona	2701	2722088, 1115985	1.0	0.3	<0.1
Bellinzona - Camorino	1522	2720553, 1113338	1.7	0.3	<0.1
Lugano	381	2717722, 1096015	2.0	<1	<1
Lugano	703	2717816, 1097744	1.9	0.5	<0.1
Vezia	265	2715989, 1098377	3.0	<1	<1
Vezia	584	2715402, 1097688	2.0	<1	<1
Ascona	2323	2703410, 1113476	1.0	<1	<1
Mendrisio	1445	2719383, 1080048	4.0	<1	<1
Mendrisio	1487	2718784, 1079643	22.0	2.0	0.1
Agno	852	2713455, 1095787	<1	<1	<1
Coldrerio	40	2719064, 1079567	3.0	<1	<1
Cadenazzo	527	2716400, 1113109	1.0	<1	<1
Gambarogno - Magadino	292	2713524, 1112671	<1	<1	<1
Gambarogno - Contone	277	2715475, 1112486	1.4	0.1	<0.1
Gambarogno - Contone	136	2715758, 1112069	1.0	0.3	<0.1
Locarno	29	2705389, 1113589	4.0	<1	<1
Locarno	4314	2711796, 1114438	5.0	<1	<1
Locarno	4102	2711505, 1114744	6.7	0.8	0.1
Locarno	4106	2711676, 1114569	1.5	0.2	<0.1
Locarno	4316	2712026, 1114451	4.7	0.5	<0.1
Faido	701	2704820, 1147933	1.0	1.0	1.0
Bioggio	950	2714822, 1096785	3.0	<1	<1
Bioggio	472	2714297, 1096946	1.2	0.3	<0.1
Bioggio	435	2714376, 1097107	1.6	0.3	<0.1
Bioggio	949	2714651, 1097035	0.8	0.1	<0.1
S. Antonino	80	2717475, 1112986	<1	<1	<1
S. Antonino	90	2717617, 1112857	2.4	0.2	<0.1
Bodio	797	2712739, 1137915	1.2	0.5	<0.1
Giornico	1204	2711749, 1138823	1.2	0.5	<0.1
Giornico	1164	2711329, 1139054	0.4	0.2	<0.1
Biasca	3934	2718465, 1132460	0.9	0.2	<0.1
Biasca	3934	2718288, 1132705	0.6	0.2	<0.1
Biasca	4011	2717802, 1134533	0.8	0.4	<0.1
Canobbio	668	2718705, 1099973	0.6	0.1	<0.1
Manno	480	2714840, 1098295	1.0	0.2	<0.1
Manno	494	2715271, 1097997	2.7	0.2	<0.1

Comune/Sezione	N. fondo	Coordinate (E, N)	PFOS	PFOA	PFHxS
Lugano - Pregassona	266	2718072, 1097792	1.2	0.5	<0.1
Coldrerio / Balerna ¹			9.3	1.2	0.2
Lavertezzo	1230	2711598, 1115033	1.9	0.2	<0.1
Riviera – Lodrino	366	2719293, 1127340	7.5	0.6	<0.1
Riva San Vitale	1143	2719252, 1083131	100	6.2	0.8
Morbio Inferiore	653	2723346, 1078423	2.1	0.7	<0.1
Bellinzona-Moleno	267	2719873, 1125760	5.0	0.7	<0.1
Bellinzona-Gnosca	712	2722711, 1121590	2.9	0.3	<0.1
Bellinzona-Gnosca	683	2722470, 1121847	1.6	0.1	<0.1
Bellinzona-Claro	1761	2722394, 1122467	0.3	0.4	<0.1
Riviera-Lodrino	3474	2719702, 1127664	8.7	0.5	<0.1
Riviera-Lodrino	241	2719296, 1128265	11.0	0.4	<0.1
Riviera-Lodrino	247	2719352, 1127947	1.4	0.3	<0.1
Riviera-Lodrino	368	2719246, 1127251	7.2	0.4	<0.1
Riviera-Lodrino	388	2719482, 1127337	0.9	0.1	<0.1
Manno	498	2715156, 1097946	4.3	0.3	<0.1
Bioggio	606	2715046, 1097679	1.8	0.3	<0.1
Bioggio ²			1.6	0.3	<0.1
Bioggio	587	2714686, 1096604	5.3	0.3	<0.1
Agno	649	2713766, 1096057	7.9	1.0	0.2
Vezia	564	2715346, 1097846	2.1	0.3	<0.1
Mendrisio	1487	2718825, 1079672	35.0	2.5	0.2
Mendrisio-Coldrerio	40	2719057, 1079557	25.0	2.5	0.1
Castel San Pietro	418 - 421	2721365, 1079386	10	0.6	<0.1
Castel San Pietro	2209	2721472, 1079540	2	0.6	<0.1
Castel San Pietro	422	2721546, 1079277	1.8	0.5	<0.1
Castel San Pietro	1119	2721638, 1079943	1.4	0.5	<0.1
Castel San Pietro	1478	2721402, 1079341	0.9	0.7	<0.1
Riva San Vitale	1178	2719272, 1083115	200	13	1.6
Riva San Vitale	1178	2719314, 1083096	180	11	1.3

¹ Il punto Coldrerio / Balerna rappresenta i valori medi di PFOS, PFOA e PFHxS per 28 punti di prelievo eseguiti presso un'unica azienda agricola.

² In accordo con il proprietario dal fondo non vengono forniti i dettagli relativi al punto di prelievo.

Tabella S2

Dettagli (Comune, Sezione, Fondo, Coordinate) delle concentrazioni degli undici composti appartenenti alla famiglia dei PFAS (PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFBS, PFHxS, PFOS) misurati per 21 campioni di suolo prelevati in Cantone Ticino.

Comune/Sezione	N. fondo	Coordinate (E, N)	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpa	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	PFBS	PFHxS	PFOS
Coldrerio	644	2721249, 1079347	0.3	0.2	0.3	0.3	1.8	0.4	0.5	0.4	<0.1	0.3	18.0
Riviera-Lodrino	366	2719293, 1127340	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	0.4	0.8	0.3	<0.1	<0.1	7.5
Mendrisio	1487	2718784, 1079643	0.5	0.5	0.5	0.6	2.0	1.2	6.5	2.8	<0.1	0.1	22.0
Riva San Vitale	1178	2719272, 1083115	1.2	1.5	2.4	2.8	13.0	4.4	18.0	9.4	0.1	1.6	200.0
Castel San Pietro		271365, 1079386	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	0.2	0.6	0.3	<0.1	<0.1	10.0
Bellinzona-Moleno	267	2719873, 1125760	0.1	0.1	0.1	0.1	0.7	0.3	0.3	0.1	<0.1	<0.1	5.0
Bellinzona-Gnosca	712	2722711, 1121590	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.2	0.2	0.1	<0.1	<0.1	2.9
Bellinzona-Gnosca	683	2722470, 1121847	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	1.6
Bellinzona-Claro	1761	2722394, 1122467	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.4	0.2	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.3
Riviera-Lodrino	3474	2719702, 1127664	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.5	0.3	1.0	0.3	<0.1	<0.1	8.7
Riviera-Lodrino	241	2719296, 1128265	0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.4	0.3	0.8	0.3	<0.1	<0.1	11.0
Riviera-Lodrino	247	2719352, 1127947	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.2	0.2	0.1	<0.1	<0.1	1.4
Riviera-Lodrino	368	2719246, 1127251	0.2	0.1	0.1	0.1	0.4	0.3	0.6	0.3	<0.1	<0.1	7.2
Riviera-Lodrino	388	2719482, 1127337	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.9
Manno	498	2715156, 1097946	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.2	0.2		<0.1	<0.1	4.3
Bioggio	606	2715046, 1097679	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	1.8
Bioggio ³			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.6
Bioggio	587	2714686, 1096604	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.2	0.3	0.1	<0.1	<0.1	5.3
Agno	649	2713766, 1096057	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0	0.5	0.7	0.3	<0.1	0.2	7.9
Vezia	564	2715346, 1097846	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	2.1
Mendrisio	1487	2718825, 1079672	0.4	0.5	0.5	0.6	2.5	1.3	5.4	1.9	<0.1	0.2	35.0
Coldrerio	40	2719057, 1079557	0.4	0.5	0.5	0.7	2.5	1.4	6.9	3.5	<0.1	0.1	25.0

³ In accordo con il proprietario del fondo non vengono forniti i dettagli relativi al punto di prelievo.

Tabella S3

Concentrazioni dei singoli composti PFAS analizzati per i campioni di acqua sotterranea con dettagli dei punti di prelievo⁴ (Comune, coordinate, tipologia, numero punto di prelievo).

Comune	Coordinate (E, N)	Tipo	Pto. prelievo	PFBS	PFDA	PFHpA	PFHxA	PFHxS	PFNA	PFPeA	PFOA	PFOS
Mendrisio	2719655, 1082230	pozzo	TIG15	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Mendrisio-Capolago	2719350, 1084200	pozzo	631.5	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Mendrisio-Rancate	2719411, 1082747	pozzo	631.2	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Stabio	2719655, 1082230	pozzo	626.36	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20 - 20	<20 - 30
Stabio	2716582, 1079096	pozzo	626.18	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Mendrisio-Ligornetto	2718437, 1080230	pozzo	613.5	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20 - 30	<20
Coldrerio	2719267, 1079787	pozzo	611.16	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20 - 20	<20
Balerna	2721610, 1077518	piezometro	602.79	<20	<20	<20	<20	30	<20	<20	<20	30 - 40
Balerna	2721784, 1077431	piezometro	602.19	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20 - 20	<20
Balerna	2722425, 1077218	piezometro	602.96	<20	<20	<20	<20	<20 - 30	<20	<20	<20	30
Chiasso	2722674, 1077104	pozzo	TIG23 (610.20)	<20 - 30	<20	<20	<20 - 30	200 - 230	<20	<20	<20 - 20	900 - 1200
Vacallo	2723268, 1077665	piezometro	628.33	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20 - 90
Bioggio	2714080, 1096780	pozzo	598.5	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Bioggio	2714090, 1096543	piezometro	598.102	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Bioggio	2714845, 1097244	pozzo	598.2	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Lamone	2714793, 1100408	pozzo	508.11	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Muzzano	2714220, 1095673	pozzo	565.16	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Manno	2715081, 1098285	pozzo	554.91	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Lugano-Davesco Soragno	2718751, 1099535	piezometro	599.1197	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Chiasso	2722745, 1076978	piezometro	610.148	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Chiasso	2722805, 1077246	piezometro	610.149	<20	<20	<20	<20	70	<20	<20	<20	300
Chiasso	2723044, 1077162	piezometro	610.202	<20 - 30	<20	<20	30 - 50	220 - 300	<20	<20 - 20	30 - 40	2520 - 2600
Chiasso		piezometro	S1	80	<20	<20	50	190	<20	<20	<20	<20
Chiasso	2722895, 1077247	piezometro	610.201	<20	<20	<20	40	220	<20	<20	50	6200
Chiasso		pozzo	SC	<20	<20	<20	<20	30	<20	<20	<20	40
Chiasso	2723360, 1077415	pozzo	610.147	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Chiasso	2723157, 1077375	pozzo	610.204	<20	<20	<20	<20	20	<20	<20	<20	<20
Chiasso	2721065, 1078236	pozzo	602.7	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	30

⁴ L'intervallo delle concentrazioni misurate è indicato per i punti di prelievo presso i quali sono state eseguite più analisi.

Comune	Coordinate (E, N)	Tipo	Pto. prelievo	PFBS	PFDA	PFHpA	PFHxA	PFHxS	PFNA	PFPeA	PFOA	PFOS
Bellinzona	2722833, 1117518	piezometro	102.156	<20	<20	<20	<20	40	<20	<20	<20	220
Bellinzona-Cresciano	2720470, 1126025	pozzo	703.16	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Bellinzona-Gorduno	2722940, 1120900	pozzo	107.139	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Bellinzona-Camorino	2722301, 1117402	pozzo	102.40	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Ascona	2718660, 1114030	pozzo	105.66	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Ascona	2703537, 1113314	pozzo	401.7	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Ascona	2703577, 1112527	pozzo	401.106	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Avegno Gordevio - Avegno	2700583, 1118472	pozzo	826.1	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Biasca	2718066, 1138462	pozzo	701.13	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Cevio	2689685, 1130277	pozzo	825.3	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Losone	2702466, 1114047	pozzo	425.27	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Lumino	2725113, 1120848	pozzo	110.1	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Maggia	2697533, 1122319	pozzo	823.3	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Maggia-Someo	2691344, 1128104	pozzo	823.6	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Personico	2714250, 1136510	piezometro	316.14	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Riviera-Iragna	2717980, 1132540	pozzo	704.14	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Tenero-Contrà	2709658, 1114955	pozzo	441.93	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Tenero-Contrà	2709405, 1114486	pozzo	441.165	<20	<20	20	<20	<20	<20	<20	80	310
Tenero-Contrà	2709013, 1114560	pozzo	441.013	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	80	220
Terre di Pedemonte - Cavigliano	2699247, 1115029	pozzo	409.2	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20

Tabella S4
 Concentrazioni [in µg/kg] degli otto congeneri PFAS ricercati in due specie ittiche (Strigione e Trota fario) in nove fiumi del Cantone Ticino nel corso della campagna eseguita nel mese di settembre 2023.

Luogo	Coordinate	Specie	Numero individui	Lunghezza media [cm]	Peso lordo medio [g]	PFOA	PFPeA	PFBS	PFHxA	PFHxS	PFNA	PFHpA	PFOS
Brenno - ponte A2	2716744, 1135177	Strigione	3	12.43	22.66	<0.001	0.05	<0.035	0.241	<0.001	0.007	<0.001	1.028
Ticino - Faido	2705114, 1147612	Trota fario	5	19.46	72.6	<0.001	<0.035	<0.035	0.25	<0.001	0.005	<0.001	3.402
Brenno - Castro	2715039, 1148323	Trota fario	3	14.3	26.3	<0.001	<0.035	<0.035	0.4	<0.001	0.007	<0.001	0.24
Breggia - Gole Saceba	2722377, 1079596	Trota fario	5	22.54	121.2	<0.001	<0.035	<0.035	<0.035	<0.001	0.046	<0.001	1.542
Breggia - Gole Saceba	2722377, 1079596	Strigione	5	13.24	26.8	<0.001	<0.035	<0.035	<0.035	<0.001	0.041	<0.001	2.46
Laveggio - Piscine	2719382, 1083059	Trota fario	5	23	129.8	0.012	<0.035	<0.035	<0.035	0.106	0.066	<0.001	8.945
Laveggio - Piscine	2719382, 1083059	Strigione	5	12.58	24.4	<0.001	<0.035	<0.035	0.054	0.01	0.018	<0.001	7.624
Vedeggio - Malombra	2714360, 1096620	Trota fario	3	21.96	124.3	<0.001	<0.035	<0.035	<0.035	0.007	0.015	<0.001	0.886
Cassarate - Stampa	2718679, 1100392	Trota fario	4	19.22	70.25	<0.001	<0.035	<0.035	<0.035	<0.001	0.041	<0.001	1.078
Cassarate - Stampa	2718679, 1100392	Strigione	5	10.6	16.2	<0.001	<0.035	<0.035	<0.035	<0.001	0.008	<0.001	1.478
Magliasina - Pescicoltura	2711436, 1093804	Trota fario	5	17.78	55.6	<0.001	<0.035	<0.035	<0.035	<0.001	0.026	<0.001	0.676
Vedeggio - Camignolo	2715879, 1107200	Trota fario	3	23.03	123.6	<0.001	<0.035	<0.035	<0.035	<0.001	0.009	<0.001	0.792
Maggia - Bignasco	2690035, 1132526	Trota fario	5	23.4	138.2	<0.001	<0.035	<0.035	<0.035	<0.001	0.013	<0.001	0.248

Autore

Repubblica e Cantone Ticino

Sezione della protezione dell'aria, dell'acqua e del suolo.
Dipartimento del Territorio

Laboratorio cantonale.
Dipartimento della sanità e della socialità

Maggio 2025