

RELAZIONE ANNUALE 2025 RELATIVA A DATI DI RILEVANZA AMBIENTALE

I pesci del Lago di Varese come bioindicatori della contaminazione ambientale da PFAS: evidenze di bioaccumulo nelle specie di acqua dolce

Il Lago di Varese rappresenta un ecosistema fortemente antropizzato, storicamente interessato da fenomeni di eutrofizzazione e sottoposto a pressioni ambientali persistenti. In questo contesto, la fauna ittica costituisce uno strumento particolarmente efficace per valutare lo stato chimico del bacino, grazie alla capacità dei pesci di accumulare contaminanti persistenti lungo la catena trofica. Le sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS) sono oggi tra i contaminanti emergenti di maggiore interesse ambientale per la loro elevata persistenza, mobilità e tendenza al bioaccumulo. I pesci, in particolare le specie predatrici e longeve, possono rappresentare un comparto sensibile per monitorarne la presenza e comprendere i processi di trasferimento dei contaminanti all'interno dell'ecosistema acquatico. Lo studio si inserisce nell'ambito del progetto "One Health – Il pesce come indicatore di qualità delle acque" e si è focalizzato sulla caratterizzazione del profilo di contaminazione da PFAS nei pesci del Lago di Varese.

Lo studio aveva i seguenti obiettivi:

- determinare la presenza e i livelli di PFAS nei muscoli delle principali specie ittiche del Lago di Varese;
- valutare il comportamento di bioaccumulo tra specie appartenenti a differenti livelli trofici;
- distinguere il contributo dei:
 - PFAS regolamentati dal Regolamento (UE) 2023/915 (PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS e loro somma);
 - PFAS emergenti o di monitoraggio, attualmente non normati ma di crescente interesse ambientale;
- utilizzare i dati ottenuti per interpretare il ruolo dei pesci come bioindicatori dello stato di contaminazione del lago.

Il campionamento è stato effettuato nel Lago di Varese, suddividendo il bacino in due macroaree:

- Basso lago (Gavirate)
- Alto lago (Cazzago Brabbia)

Le catture sono state eseguite mediante reti da posta fissa tra giugno 2024 e marzo 2025.

Sono stati analizzati 59 esemplari appartenenti a cinque specie ittiche:

- Luccio (*Esox lucius*)
- Lucioperca (*Sander lucioperca*)
- Persico reale (*Perca fluviatilis*)
- Siluro (*Silurus glanis*)
- Tinca (*Tinca tinca*)

Dal muscolo di ciascun esemplare è stata prelevata una porzione, successivamente omogeneizzata e conservata a $-24 \pm 6^{\circ}\text{C}$.

Le determinazioni analitiche sono state eseguite mediante LC-MS/MS.

Sono stati ricercati:

1) PFAS regolamentati

- PFOS
- PFOA
- PFNA
- PFHxS
- Somma dei quattro composti

2) PFAS emergenti

Tra i principali: PFDA, PFUnA, PFDoA, PFTTrDA, PFBS, fluorotelomeri, GenX, ADONA, precursori sulfonamidici e altri composti fluorurati di monitoraggio.

RISULTATI

PFAS regolamentati

PFOA e PFHxS

Entrambi i composti sono risultati non rilevati in tutti i 59 campioni analizzati (concentrazioni inferiori al limite di quantificazione).

PFNA

Il composto è stato rilevato nella maggior parte delle specie ma con concentrazioni contenute:

- Lucioperca: media ~0,5–0,6 µg/kg
- Persico reale: media ~0,4 µg/kg
- Luccio: media ~0,25 µg/kg

Tutti i valori risultano ampiamente inferiori ai limiti normativi.

PFOS

PFOS è risultato il composto dominante e quello che mostra il comportamento di bioaccumulo più evidente.

Luccio

- 12 campioni analizzati
- concentrazioni: 3,1–7,5 µg/kg
- media: ~5,2 µg/kg
- 3 campioni oltre il limite normativo di 7,0 µg/kg
- gli esemplari di maggior taglia risultano i più contaminati

Siluro

- 16 campioni
- intervallo: 0,6–3,3 µg/kg
- media: ~1,3 µg/kg
- nessun superamento

Tinca

- 4 campioni
- valori: 0,8–2,7 µg/kg
- sempre sotto soglia

Lucioperca

- 8 campioni
- intervallo: 2,2–17 µg/kg
- media: ~8 µg/kg
- tutti conformi al limite applicabile

Persico reale

- 19 campioni
- intervallo: 4,5–18 µg/kg
- media: ~8 µg/kg
- nessun superamento

Somma dei PFAS regolamentati

Nessun campione ha superato i limiti normativi per la somma dei PFAS.

Nel luccio è stato osservato almeno un caso con valori prossimi al limite massimo consentito (8,0 µg/kg), confermando il ruolo di questa specie come principale accumulatore.

PFAS emergenti (non normati)

L'analisi dei PFAS emergenti evidenzia un quadro ambientale più articolato rispetto a quello descritto dai soli composti regolamentati.

I PFAS a catena corta (PFBS, alcuni fluorotelomeri, GenX, ADONA e altri composti sostitutivi) risultano generalmente assenti o presenti sporadicamente.

Diversamente, i PFAS a catena lunga mostrano presenza diffusa e livelli significativamente maggiori.

PFDA (C10)

- rilevato nella quasi totalità dei campioni
- concentrazioni fino a ~14,7 µg/kg
- livelli maggiori in lucioperca e persico reale

PFUnA (C11)

- concentrazioni fino a ~5,8 µg/kg

PFDoA e PFTTrDA (C12–C13)

- generalmente comprese tra 0,1 e 0,7 µg/kg
- frequentemente associate alla presenza di PFDA e PFUnA

L'analisi del profilo di contaminazione evidenzia differenze specie-specifiche:

- Lucioperca: specie con il maggiore carico di PFAS emergenti, soprattutto PFDA e PFUnA;
- Persico reale: contaminazione intermedia ma con elevata variabilità tra individui;
- Luccio: principale accumulatore di PFOS regolamentato;
- Siluro e tinca: livelli generalmente inferiori.

Il quadro osservato conferma il ruolo della posizione trofica e della longevità come fattori determinanti nel processo di bioaccumulo.

CONCLUSIONI

I risultati mostrano che i pesci del Lago di Varese rappresentano un comparto particolarmente sensibile per il monitoraggio della contaminazione da PFAS e costituiscono efficaci bioindicatori dello stato chimico del bacino. Per i PFAS regolamentati emerge una situazione complessivamente conforme ai limiti vigenti, pur con alcuni superamenti di PFOS nel luccio e valori prossimi alla soglia in alcuni individui. Più rilevante dal punto di vista ambientale è il profilo dei PFAS emergenti, caratterizzato da una presenza diffusa dei composti a catena lunga e da evidenti fenomeni di accumulo nelle specie predatrici. L'insieme dei risultati suggerisce che il Lago di Varese sia interessato da una pressione di contaminazione cronica da PFAS, non sempre rappresentata dai soli composti attualmente normati. Il monitoraggio della fauna ittica si conferma pertanto uno strumento utile per integrare la valutazione della qualità delle acque e supportare strategie di sorveglianza ambientale orientate ai contaminanti persistenti emergenti.