

PFAS nel Biota: Soluzioni analitiche affidabili in contesti di rischio

L'analisi del biota (tutti gli organismi viventi) come indicatore dell'inquinamento ambientale è una pratica fondamentale nota come **biomonitoraggio** o **bioindicazione**. Questo approccio valuta la qualità dell'ambiente (aria, acqua, suolo) studiando le risposte degli organismi viventi (bioindicatori) all'inquinamento ambientale. A causa della persistenza e del potenziale bioaccumulativo dei PFAS, i pesci e i molluschi sono soggetti cruciali in questa pratica, fungendo da bioaccumulatori le cui concentrazioni nei tessuti riflettono il livello di contaminazione da PFAS nell'ambiente.

Legislazione UE attuale e futura

Ai sensi della direttiva 2013/39/UE è elencato solo il PFOS. I PFAS sono rilasciati nell'ambiente da varie fonti, come sostanza prioritaria nell'ambiente acquatico, con uno standard di qualità ambientale (EQS) per il biota (pesci) di 9,1 µg/kg di peso umido. Tuttavia, gli standard di sicurezza alimentare sono stati notevolmente inaspriti. Dal 2023, il regolamento (UE) 2023/915 2 ha fissato i livelli massimi per la somma di quattro PFAS (PFOA, PFOS, PFNA e PFHxS) in vari prodotti alimentari. Sebbene il livello massimo predefinito per la carne di pesce sia generalmente fissato a 2,0 µg/kg di peso umido, il regolamento tiene conto della significativa variabilità tra le specie in termini di bioaccumulo ed esposizione ambientale. I limiti di contaminazione sono suddivisi per specie in modo da riflettere i diversi livelli di bioaccumulo. Ad esempio, mentre per il salmone atlantico il limite è fissato a 5,0 µg/kg, le soglie per altre specie come il coregone o la bottatrice possono raggiungere i 45 µg/kg. Queste variazioni tengono conto dei diversi habitat e delle diverse posizioni nella catena alimentare.

Guardando al futuro, l'UE si sta orientando verso un approccio di gruppo alla protezione dell'ambiente. Una proposta di modifica della direttiva quadro sulle acque amplierebbe il monitoraggio ai PFAS come gruppo. Questo cambiamento riflette le ultime scoperte scientifiche dell'EFSA sul bioaccumulo e la tossicità combinata di queste "sostanze chimiche eterne". Segna il passaggio dalla regolamentazione delle singole sostanze alla gestione dell'intera classe chimica, al fine di garantire un elevato livello



di protezione sia per la salute umana che per gli impianti industriali, le discariche e le schiume antincendio. I PFAS a catena corta sono altamente mobili e persistono nelle acque superficiali e sotterranee, mentre molti PFAS a catena lunga si assorbono nella materia organica e si accumulano nei sedimenti.

Come avviene la contaminazione dei PFAS nel biota

Contaminazione dell'acqua e del suolo:

I PFAS vengono rilasciati nell'ambiente da diverse fonti, compresi impianti industriali, discariche e schiume antincendio. I PFAS a catena corta sono altamente mobili e persistono nelle acque superficiali e sotterranee, mentre molti PFAS a catena lunga si legano alla materia organica e si accumulano nei sedimenti.

Bioaccumulo nella catena alimentare acquatica:

Gli organismi acquatici come pesci e molluschi assorbono i PFAS dall'acqua e dalle fonti alimentari contaminate, accumulandoli nei loro tessuti. Questo accumulo è spesso amplificato lungo la catena alimentare (biomagnificazione), in particolare per i PFAS a catena lunga (ad esempio, PFOS) nei pesci predatori.

Contaminazione degli animali terrestri:

Nelle zone colpite, gli animali sono esposti attraverso l'acqua potabile, i mangimi e il suolo o la polvere. I PFAS si legano alle proteine e si accumulano principalmente nel sangue e

nel fegato. Può verificarsi il trasferimento a prodotti di origine animale (ad esempio latte e uova).

Contaminazione delle colture:

Le piante coltivate in terreni contaminati o irrigate con acqua contaminata possono assorbire i PFAS. I tassi di assorbimento variano; i PFAS a catena più corta sono generalmente assorbiti più facilmente dalle radici, facilitando il loro ingresso nella catena alimentare terrestre.

Ulteriori percorsi e considerazioni:

I precursori dei PFAS possono trasformarsi in acidi perfluoroalchilici persistenti (PFAA), come il PFOS e il PFOA, aumentando nel tempo il carico biologico nel biota. I sedimenti e gli organismi bentonici rappresentano vie di esposizione fondamentali nei sistemi acquatici. Il trasporto atmosferico e la deposizione contribuiscono alla contaminazione del suolo e dell'acqua; inoltre, l'applicazione di biosolidi sul terreno e l'uso di acqua di irrigazione contaminata possono introdurre PFAS nei sistemi agricoli.

Impatto sul biota

Accumulo nel tempo:

A causa della loro stabilità chimica e della loro lenta eliminazione, molti PFAS a catena lunga persistono negli organismi e le loro concentrazioni possono aumentare nel tempo. Si legano alle proteine e tendono ad accumularsi nel sangue e nel fegato, nonché nelle uova. La biomagnificazione può verificarsi a livelli trofici più elevati.

Potenziali effetti sulla salute:

L'esposizione ai PFAS nella fauna selvatica è associata a immunosoppressione, disturbi endocrini e tiroidei, alterazioni del metabolismo lipidico e tossicità epatica, nonché effetti sullo sviluppo e sulla riproduzione (ad esempio, riduzione del successo di schiusa). Per quanto riguarda il cancro, l'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (IARC) classifica il PFOA come cancerogeno per l'uomo (Gruppo 1) e il PFOS come potenzialmente cancerogeno per l'uomo (Gruppo 2B).

Trasferimento materno e sensibilità nelle fasi della vita:

I PFAS possono essere trasferiti dagli adulti alla prole attraverso le uova e l'allattamento, rendendo particolarmente vulnerabili le prime fasi di vita.

Monitoraggio e modelli di biomagnificazione

I pesci selvatici e gli invertebrati in tutta l'UE presentano livelli misurabili di PFAS (PFOS e PFCA) nell'organismo compresi tra decine e poche centinaia di µg/kg (peso umido). I predatori marini di vertice spesso presentano livelli elevati di PFOS rispetto ai valori EQS del biota. I modelli di biomagnificazione variano a seconda dei composti, ma diversi PFAS a catena lunga sono bioaccumulabili.

Metodi analitici

ALS utilizza il metodo LC-MS/MS accreditato ISO/IEC 17025 per determinare i PFAS nel biota, che fungono da indicatori critici della contaminazione ambientale. Questo metodo è stato rigorosamente convalidato su un'ampia gamma di matrici, tra cui pesce e altri frutti di mare (bivalvi, crostacei, cefalopodi), carne, uova, latte e vari tessuti vegetali.



Logistica e gestione dei campioni:

Per preservare l'integrità dell'analita e prevenire il degrado biologico, vengono seguiti rigorosi protocolli di trasporto. I campioni devono essere spediti tramite corriere espresso. Se spediti congelati, devono essere trasportati in modo tale da garantire che rimangano congelati durante tutto il trasporto.



Peso del campione:

Sebbene il laboratorio sia in grado di elaborare campioni di appena 10 g, si consiglia di inviare 50 g di campione per garantirne la rappresentatività. Per ottenere una porzione di test stabile e uniforme, i campioni vengono liofilizzati e quindi accuratamente omogeneizzati. Questo processo stabilizza la matrice e preconcentra gli analiti, consentendo il rilevamento di tracce.



Estrazione e analisi:

Il flusso di lavoro analitico utilizza un'estrazione QuEChERS modificata per garantire un recupero efficiente degli analiti, seguita da una pulizia mediante estrazione in fase solida (SPE) per rimuovere le interferenze della matrice. La separazione e il rilevamento finali vengono eseguiti su strumentazione UHPLC-MS/MS all'avanguardia.



Quantificazione:

La concentrazione di ciascun PFAS è determinata dalla calibrazione dello standard interno. I rapporti di risposta sono correlati ai rapporti di concentrazione degli analiti nativi e dei corrispondenti standard interni marcati isotopicamente, fornendo una correzione robusta per i potenziali effetti della matrice e garantendo un'elevata accuratezza e precisione.

RIFERIMENTI

Teunen et al.: Accumulo di PFAS negli organismi acquatici autoctoni e trasferiti dal Belgio, con traduzione in rischi per la salute umana e l'ambiente. *Environ Sci Eur* (2021) 33:39

Byns et al.: Bioaccumulo e trasferimento trofico delle sostanze alchiliche perfluorate (PFAS) nella biota marina del Mare del Nord belga: distribuzione e implicazioni per la salute umana. *Inquinamento ambientale* 311 (2022) 119907

Gkika et al.: Forte bioaccumulo di un'ampia varietà di PFAS in un ecosistema terrestre e acquatico contaminato. *Environment International* 202 (2025) 109629

Lista dei parametri

LOQ: Limite di Quantificazione (µg/kg)



right solutions.
right partner.

Parametro	Abbreviazione	LOQ (µg/kg)
Perfluoroalkyl Carboxylic Acids		
Perfluorobutanoic acid	PFBA	1
Perfluoropentanoic acid	PFPeA	0.1
Perfluorohexanoic acid	PFHxA	0.1
Perfluoroheptanoic acid	PFHpA	0.1
Perfluorooctanoic acid	PFOA	0.1
Perfluorononanoic acid	PFNA	0.1
Perfluorodecanoic acid	PFDA	0.1
Perfluoroundecanoic acid	PFUnDA	0.1
Perfluorododecanoic acid	PFDoDA	0.1
Perfluorotridecanoic acid	PFTTrDA	0.1
Perfluorotetradecanoic acid	PFTTeDA	0.1
Perfluorohexadecanoic acid	PFHxDA	0.1
Perfluoroalkane Sulfonic Acids		
Perfluorobutane sulfonic acid	PFBS	0.1
Perfluoropentane sulfonic acid	PFPeS	0.1
Perfluorohexane sulfonic acid	PFHxS	0.1
Perfluoroheptane sulfonic acid	PFHpS	0.1
Perfluorooctane sulfonic acid	PFOS	0.1
Perfluorononane sulfonic acid	PFNS	0.1
Perfluorodecane sulfonic acid	PFDS	0.1
Perfluoroundecane sulfonic acid	PFUnDS	0.1
Perfluorododecane sulfonic acid	PFDoDS	0.1
Perfluorotridecane sulfonic acid	PFTTrDS	0.1
Perfluoroalkyl Sulfonamides		
Perfluorooctane sulfonamide	PFOSA	0.1
Fluorotelomer Sulfonic Acids		
4:2 Fluorotelomer sulfonic acid	4:2 FTS	0.1
6:2 Fluorotelomer sulfonic acid	6:2 FTS	0.1
8:2 Fluorotelomer sulfonic acid	8:2 FTS	0.1
Other PFAS		
2,3,3,3-Tetrafluoro-2-(heptafluoropropoxy) propanoic acid	HFPO-DA (GenX)	0.1
7H-Perfluoroheptanoic acid	HPFHpA	0.1
Perfluoro-3,7-dimethyloctanoic acid	P37DMOA	0.1

CONTATTI

ALS in Italia
Info.zpp@alsglobal.com
+39 04343 638 200