



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DEL MOLISE

PFAS e Rifiuti: Abbiamo un problema!  
Un Focus per una Gestione Responsabile  
e Sostenibile, Campobasso 13-14 Giugno



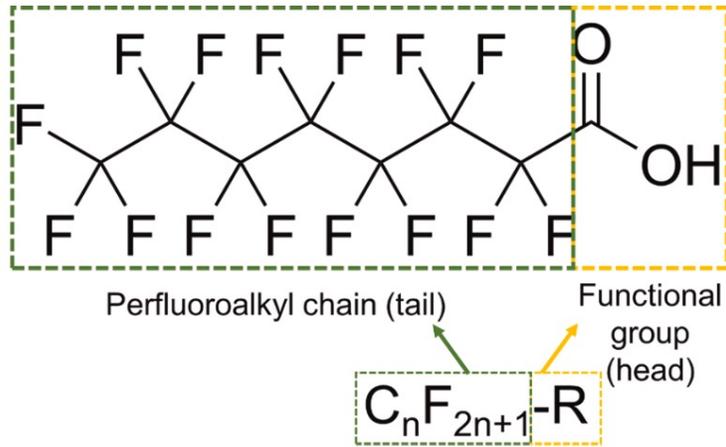
# Legislazione PFAS nei Settori Ambiente e Alimenti

Alessia Iannone

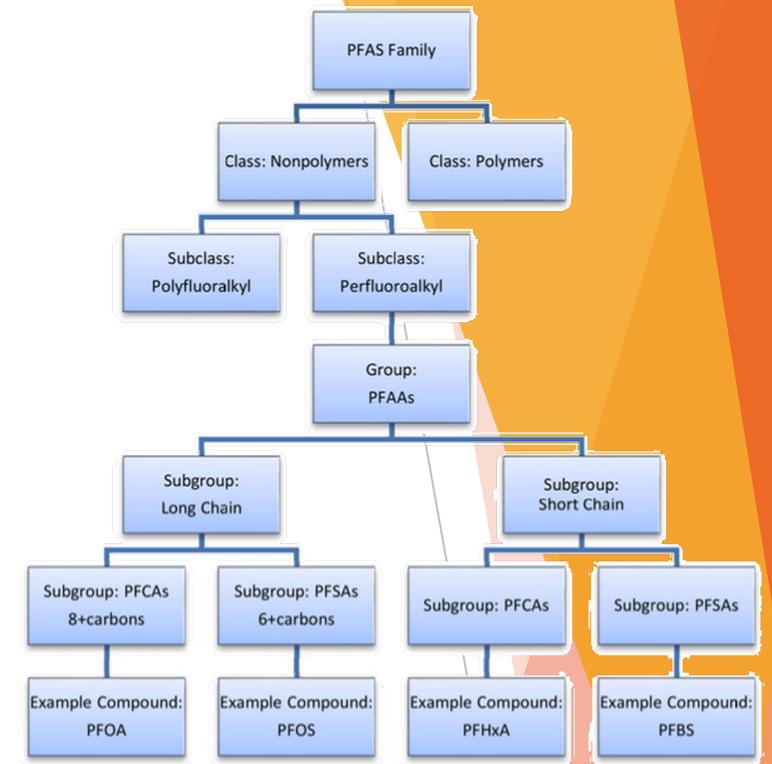
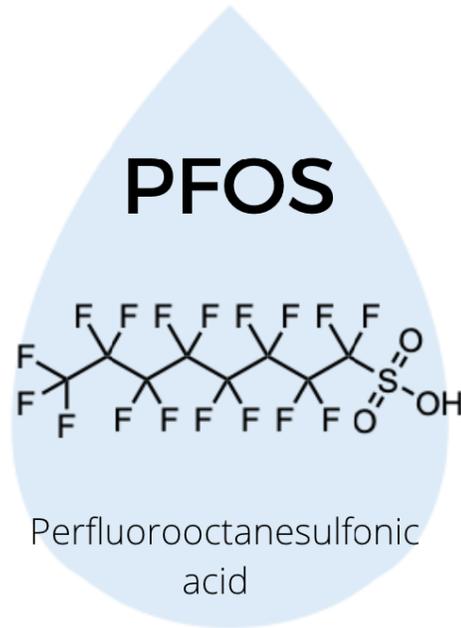
Dipartimento Agricoltura, Ambiente e Alimenti,  
Università degli Studi del Molise

[alessia.iannone@unimol.it](mailto:alessia.iannone@unimol.it)

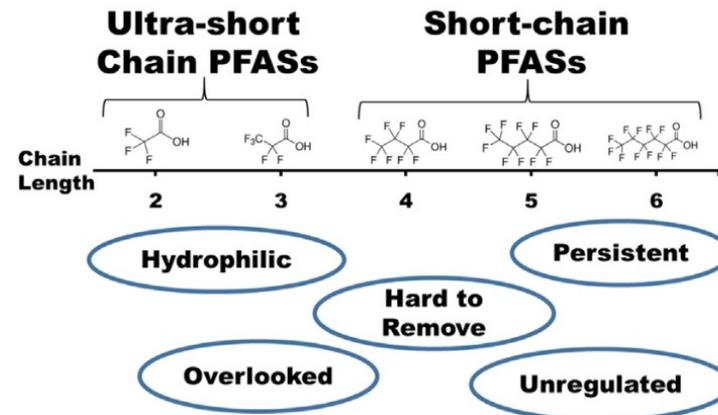
# PFAS



Struttura base di una sostanza perfluoroalchilica. L'esempio mostrato è il composto acido perfluorooctanoico (PFOA) (Blake et al., 2020)



Classificazione dei PFAS (Brennan et al., 2021)

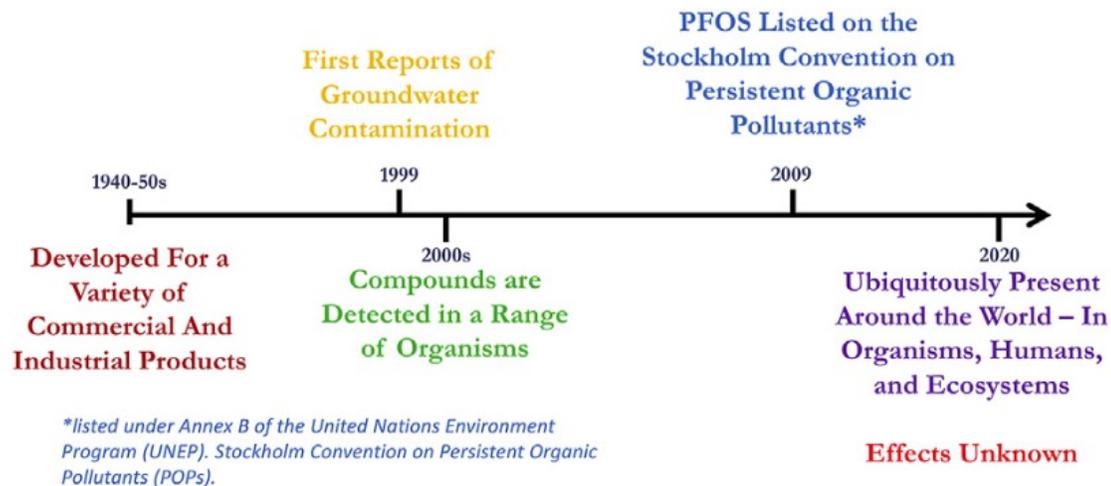


Caratteristiche chimico-fisiche dei PFAS (Ateia et al., 2019)

PFAS	Category	Chemical formula	Molecular weight	Log $S_w$ (mol L <sup>-1</sup> )	Log $K_{ow}$	$pK_a$
Perfluorooctanesulfonic acid (PFOS)	Long-chain PFSA	CF <sub>3</sub> (CF <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> SO <sub>3</sub> H	500.1	-6.68 <sup>a</sup>	4.49 <sup>a</sup>	-3.27 <sup>e</sup>
Perfluorohexanesulfonic acid (PFHpS)	Long-chain PFSA	CF <sub>3</sub> (CF <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> SO <sub>3</sub> H	450.1	-5.63 <sup>a</sup>	3.82 <sup>a</sup>	< 0.3 <sup>d</sup>
Perfluorohexanesulfonic acid (PFHxS)	Long-chain PFSA	CF <sub>3</sub> (CF <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> SO <sub>3</sub> H	400.1	-4.27 <sup>a</sup>	3.16 <sup>a</sup>	0.14 <sup>e</sup>
Perfluoropentanesulfonic acid (PFPeS)	Short-chain PFSA	CF <sub>3</sub> (CF <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> SO <sub>3</sub> H	350.1	-2.90 <sup>a</sup>	2.49 <sup>a</sup>	< 0.3 <sup>d</sup>
Perfluorobutanesulfonic acid (PFBS)	Short-chain PFSA	CF <sub>3</sub> (CF <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> SO <sub>3</sub> H	300.1	-1.53 <sup>a</sup>	1.82 <sup>a</sup>	0.14 <sup>e</sup>
Perfluorooctanoic acid (PFOA)	Long-chain PFCA	CF <sub>3</sub> (CF <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> COOH	414.1	-1.93 <sup>b</sup>	5.30 <sup>b</sup>	-0.2 <sup>e</sup> (3.8 <sup>e</sup> )*
Perfluorohexanoic acid (PFHxA)	Short-chain PFCA	CF <sub>3</sub> (CF <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> COOH	314.1	-1.16 <sup>b</sup>	4.06 <sup>b</sup>	-0.16 <sup>e</sup>
Perfluoropentanoic acid (PFPeA)	Short-chain PFCA	CF <sub>3</sub> (CF <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> COOH	264.1	-0.37 <sup>b</sup>	3.43 <sup>b</sup>	0.17 <sup>e</sup>
Perfluorobutanoic acid (PFBA)	Short-chain PFCA	CF <sub>3</sub> (CF <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> COOH	214.1	0.42 <sup>b</sup>	2.82 <sup>b</sup>	0.4 <sup>e</sup>
Perfluoropropionic acid (PFPrA)	Short-chain PFCA	CF <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> COOH	164.0	0.54 <sup>a</sup>	1.47 <sup>a</sup>	-0.39 <sup>f</sup>
Trifluoroacetic acid (TFA)	Short-chain PFCA	CF <sub>3</sub> COOH	114.0	0.94 <sup>a</sup>	0.50 <sup>a</sup>	0.16 <sup>g</sup>

\* The  $pK_a$  of PFOA is concentration-dependent.

Struttura e proprietà chimico-fisiche di alcuni PFAS a corta e lunga catena (Li et al., 2020)



## Andamento cronologico dell'indagine sui PFAS (Sinclair et al., 2020)

Perfluorooctanesulfonate and related fluorinated hydrocarbons in marine mammals, fishes, and birds from coasts of the Baltic and the Mediterranean Seas

[PDF] [acs.org](#)

[K Kannan, S Corsolini, J Falandysz...](#) - ... science & technology, 2002 - ACS Publications

... **PFOS** concentrations in liver and **blood**, which indicates that ... **PFOS** has been **identified** in serum samples from both ... from **animals** stranded in the Thyrrenian Sea. Liver and ...

☆ Salva Cita Citato da 575 Articoli correlati Tutte e 14 le versioni

Accumulation of perfluorooctane sulfonate in marine mammals

[HTML] [acs.org](#)

[K Kannan, J Koistinen, K Beckmen...](#) - ... science & technology, 2001 - ACS Publications

... been **identified** in some water samples ( 4, 5). Our recent study has documented global distribution of **PFOS** in **animals** ... While our **earlier** paper has documented the presence of **PFOS** in ...

☆ Salva Cita Citato da 683 Articoli correlati Tutte e 15 le versioni

Perfluorooctanesulfonate and related fluorinated hydrocarbons in mink and river otters from the United States

[PDF] [acs.org](#)

[K Kannan, J Newsted, RS Halbrook...](#) - Environmental science & ..., 2002 - ACS Publications

... **PFOS** has been detected in liver and **blood** plasma of wildlife ... the need for collecting additional **animals**. Age and sex of ... had relatively greater frequencies of **detection** of PFOA. The ...

☆ Salva Cita Citato da 294 Articoli correlati Tutte e 15 le versioni

Subchronic toxicity studies on perfluorooctanesulfonate potassium salt in cynomolgus monkeys

[HTML] [oup.com](#)  
ACNP Full Text

[AM Seacat, PJ Thomford, KJ Hansen...](#) - Toxicological ..., 2002 - academic.oup.com

... Comparison of serum **PFOS** concentrations associated with ... , and electron microscopy, liver **PFOS** determination, and cell ... The recovery group **animals** revealed that the effects of **PFOS** ...

☆ Salva Cita Citato da 673 Articoli correlati Tutte e 14 le versioni

Perfluorooctane sulfonate in fish-eating water birds including bald eagles and albatrosses

[HTML] [acs.org](#)

[K Kannan, JC Franson, WW Bowerman...](#) - ... science & technology, 2001 - ACS Publications

... of **PFOS** were greater in **blood** plasma than in whole **blood**. ... allowed the **detection** of perfluorooctane sulfonate (**PFOS**) in sera ... of exposure of **PFOS** in these predatory **animals** in ...

☆ Salva Cita Citato da 430 Articoli correlati Tutte e 12 le versioni

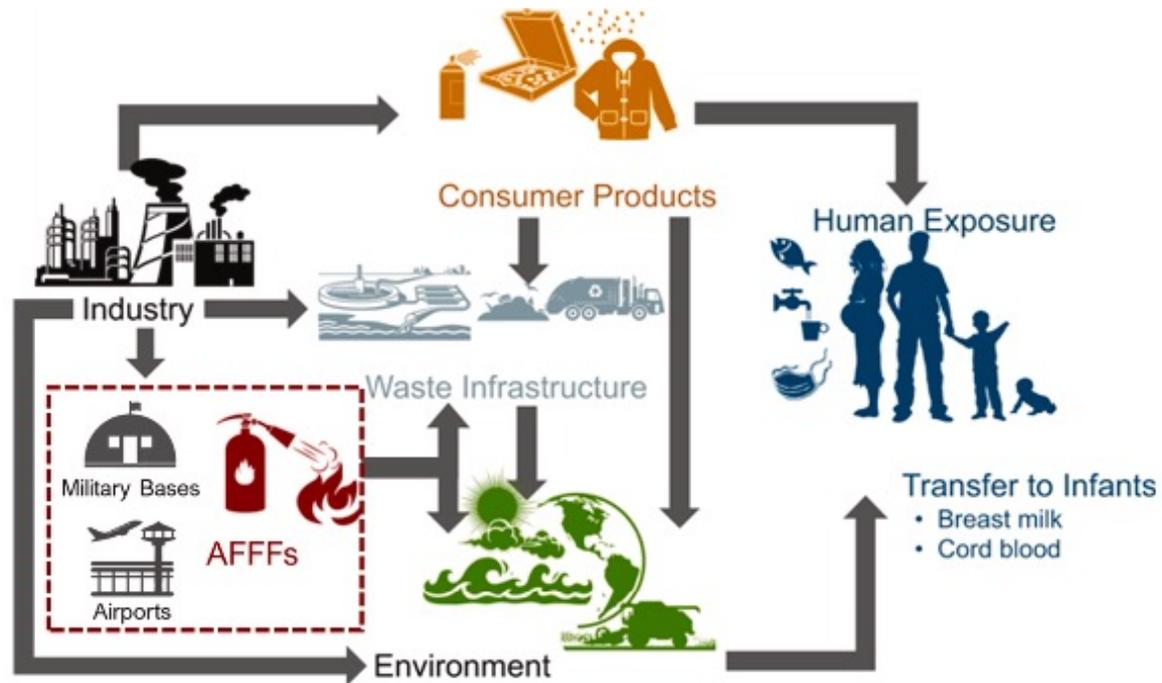
Rat and rabbit oral developmental toxicology studies with two perfluorinated compounds

[PDF] [sagepub.com](#)

[MT Case, RG York...](#) - International journal of ..., 2001 - journals.sagepub.com

Determinazione dei PFAS in organismi viventi (fonte: Google Scholar)

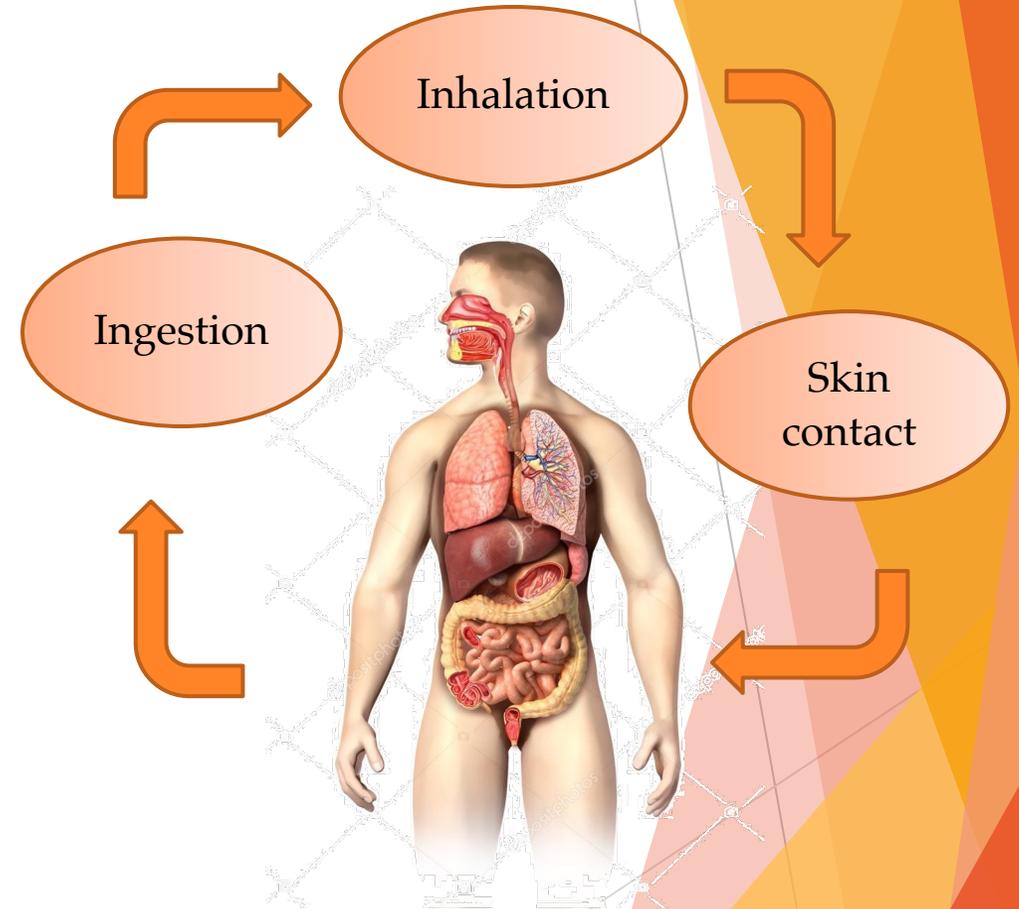
# PFAS in ambiente e alimenti



Sorgenti di esposizione ai PFAS (Blake et al., 2020)

## Ambiente:

- ❖ Fonti dirette: scarichi industriali, discariche, deflussi agricoli, impianti di trattamento delle acque reflue, deposizione atmosferica
- ❖ Fonti indirette: degradazione dei precursori neutri e volatili dei PFAS



## Alimenti:

Contaminazione ambientale, imballaggi alimentari, contaminazione in fase di produzione, preparazione e lavorazione

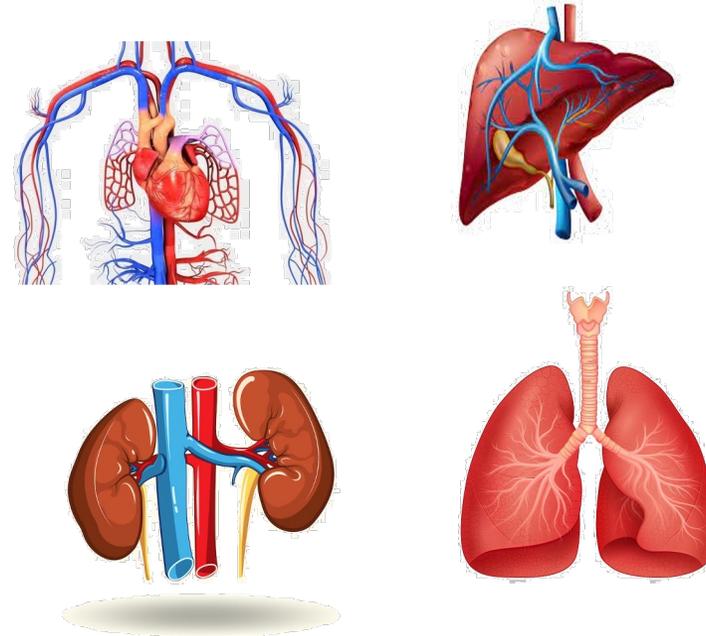
Human Health	PFAS Exposure Outcome	Risk <sup>a</sup>
Lipids	High exposure increases the risk of incident hypercholesterolemia in adults and low association to lipid profiles.	Increased / Known risk
Uric Acid	Limited evidence supports an association between hyperuricemia and PFAS.	Inconsistent / Unknown risk
Kidney Disease	Limited and inconsistent evidence links chronic kidney disease.	Inconsistent / Unknown risk
Heart Disease and Hypertension	No significant evidence with CHD and hypertension.	Unlikely / No known risk
Cerebrovascular Disease	Limited evidence with incident and prevalent stroke.	Inconsistent / Unknown risk
Diabetes	Unlikely association with Type 2 Diabetes mellitus.	Unlikely / No known risk
Liver Function and Liver Disease	Inconsistent positive associations with liver function biomarkers. Negative prevalence or incidence of liver diseases including hepatitis or non-alcoholic or alcoholic fatty liver disease.	Inconsistent / Unknown risk
Immune Function	No evidence of any increased risk of non-infectious lung disease.	Unlikely / No known risk
Autoimmune Disease	Probable link between exposure and ulcerative colitis. No probable link between PFOA and any of the other autoimmune diseases (rheumatoid arthritis, lupus, type 1 diabetes, Crohn's disease, or multiple sclerosis).	Inconsistent / Unknown risk
Osteoarthritis and Bone Mineral Density	Limited and inconsistent evidence on osteoarthritis.	Inconsistent / Unknown risk
Thyroid Function	Limited and inconsistent evidence of thyroid function.	Inconsistent / Unknown risk
Thyroid Disease	Inconsistent evidence on thyroid disease.	Inconsistent / Unknown risk
Neurological and Neurodegenerative Disorders	Limited evidence on development of cognitive impairment or neurodegenerative diseases.	Inconsistent / Unknown risk
Cognitive and Behavioural Disorders in Children	Limited evidence on childhood behavioural and cognitive development.	Inconsistent / Unknown risk
Reproductive and Developmental Outcomes	Limited and inconsistent evidence of reproductive and developmental outcomes.	Inconsistent / Unknown risk
Overweight and Obesity in Offspring	Limited and inconsistent evidence regarding early life exposure to PFAS with later obesity.	Inconsistent / Unknown risk

<sup>a</sup> Key for risk assessment likelihood

- Increased / Known risk
- Inconsistent / Unknown risk
- Unlikely / No known risk



## Effetti sulla salute connessi all'esposizione umana ai PFAS (Sinclair et al., 2020)



Livelli di PFHxS (0.153 ng/g), PFOA (0.301 ng/g, PFNA (0.244 ng/g) nel sangue e fegato, concentrazioni di PFOS (6.277 ng/g) nel fegato, reni (range:0.04-0.19 ng/g, polmoni (0.03 ng/g) (Iannone et al., 2024)

# Legislazione PFAS alimenti

## America:

- 2006: USEPA (United States Environmental Protection Agency) ha fissato il limite guida di PFOA e PFOS di 70 ng/L nell'acqua potabile
- 2009: l'US Office of Water ha sviluppato valori provvisori di consulenza sanitaria per PFOA e PFOS al fine di valutare i rischi potenziali derivanti dall'esposizione a queste sostanze chimiche attraverso l'acqua potabile. I valori provvisori per la salute di PFOA e PFOS erano rispettivamente 400 e 200 ng/L.
- 2016: EPA ha fissato un limite di 70 ng/L per il PFOA e PFOS singoli o in combinazione, nell'acqua potabile.
- Alcuni stati degli Stati Uniti hanno sviluppato valori soglia di PFAS diversa da quelli dell'EPA che variano da 13 a 1000 ng/L

Guideline	Advisory Level		Reference Dose	
	PFAO (ng/L)	PFOS (ng/L)	PFAO (ng/kg-Day)	PFOS (ng/kg-Day)
U.S. EPAa, 2016, Health Advisory Level	70	70	20	20
Alaska DECb, 2016, Groundwater cleanup level	400	400	20	20
Maine DEPb, 2016, Remedial action guideline	130	560	6	80
Minnesota DOH, 2017, Noncancer health-based level	35	27	18	5.1
New Jersey DEP, 2017, Maximum contaminant level	14	13	2	1.8
North Carolina DENRb, 2012, Interim maximum allowable concentration	1000	-	N/A	NA
Texas CEQb, 2017, Protective concentration level	290	560	15	20
Vermonta DEC/DOH,6 2016, Primary groundwater enforcement standard	20	20	20	20

Livelli guida di PFOA e PFOS per l'acqua potabile negli Stati Uniti (Abunada et al., 2020)

PFAS Name	Acronym	Drinking Water Screening Value (ng/L)
perfluorobutanoate	PFBA	30
perfluorobutane sulfonate	PFBS	15
perfluorohexanesulfonate	PFHxS	0.6
perfluoropentanoate	PFPeA	0.2
perfluorohexanoate	PFHxA	0.2
perfluoroheptanoate	PFHpA	0.2
perfluorononanoate	PFNA	0.02
fluorotelomer sulfonate	6:2 FTS	0.2
fluorotelomer sulfonate	8:2 FTS	0.2

Linee guida di alcuni PFAS del Canada (Abunada et al., 2020)

Health Based Guideline Value	PFOS and PFHxS (ng)	PFOA (ng)	PFAO (ng)
Tolerable daily intake	20	160	0.16
Guideline for drinking water quality	70	560	0.56
Guideline value for Recreational water quality	2000	10,000	10

Linee guida di alcuni PFAS dell'Australia (Abunada et al., 2020)

- EPA marzo 2021, «Regulatory Determinations for Contaminant Candidate List», EPA, afferma che due dei cosiddetti “legacy PFAS”, il PFOA e l’acido perfluorottano sulfonico (PFOS), devono essere regolamentati nell’acqua potabile a causa della loro già nota contaminazione e tossicità.
- 14 marzo 2023: l’EPA ha proposto proposto limiti rigorosi per i sei tipi di sostanze chimiche PFAS, tra cui PFOA, PFOS, PFNA, HFPO-DA, PFHxS e PFBS per l’acqua potabile. Per i primi due, PFOA e PFOS, il limite è fissato a **4 parti per mille miliardi**.

## Europa:

- Italia: a seguito di concentrazioni allarmanti di PFAS in Veneto nel 2013, l’ISS ha introdotto limiti soglia per PFOS, PFOA e altri PFAS di 30 ng/L, 500 ng/L e 500 ng/L, rispettivamente nell’acqua potabile.
- Germania: la Commissione del Ministero della Salute ha stabilito un livello massimo di PFOA e PFOS di 300 ng/L sulla base dell’esposizione sicura per tutta la vita per tutti i gruppi di popolazione.
- Spagna: sulla base di frequenti programmi di biomonitoraggio di PFAS in campioni di acqua sono stati stabiliti livelli medi massimi di PFOS e PFOA rispettivamente di 1,81 e 2,40 ng/L.

- ▶ DIRETTIVA (UE) 2020/2184 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 16 dicembre 2020 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano. La Commissione ha stabilito linee guida tecniche sui metodi analitici per quanto riguarda il monitoraggio delle sostanze per- e polifluoro alchiliche comprese nei parametri «PFAS — totale» e «somma di PFAS», compresi i limiti di rilevazione, i valori di parametro e la frequenza di campionamento. Nell'All. 1, Parte A stabilisce parametri microbiologici di PFAS Totali di  $0,50 \mu\text{g}/\text{L}$  e per la somma di PFAS di  $0,10 \mu\text{g}/\text{L}$ .
- ▶ Nel regolamento (UE) 2022/2388 della Commissione del 7 dicembre 2022, l'Europa ha fissato i tenori massimi di PFOS, PFOA, PFNA e PFHxS e la loro somma in alimenti come uova ( $1.7 \mu\text{g kg}^{-1}$ ), carne di pesce ( $2.0 \mu\text{g kg}^{-1}$ ), carne di bovini, suini e pollame ( $1.3 \mu\text{g kg}^{-1}$ ), crostacei e molluschi bivalvi ( $5 \mu\text{g kg}^{-1}$ ), frattaglie di varie specie (bovini, ovini, suini, pollame) ( $8.0 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) modificando i tenori di PFAS stabiliti nel regolamento (CE) 1881/2006.

Compound	Europe	US	Canada	China	Japan	Australia
PFOA	x	0.0040	x	0.080	0.050	0.56
PFOS	x	0.0040	x	0.040	0.050	0.070 *
PFNA	x	0.0010	x	x	x	x
PFHxS	x	0.0010	x	x	x	0.070 *
Total PFAS	0.50	x	0.030	x	x	x

Livelli di PFAS ( $\mu\text{g/L}$ ) permessi in acqua potabile (Schiavone et Portesi, 2023)

Compound	Europe	America	Asia	Africa	Oceania
PFOA	1.0	x	x	x	x
PFOS	0.30	x	x	x	x
PFNA	0.70	x	x	x	x
PFHxS	0.30	x	x	x	x
Total PFAS	x	x	x	x	x

x = not legislated.

Livelli di PFAS ( $\mu\text{g/kg}$ ) permessi nelle uova (Schiavone et portesi, 2023)

<b>Compound</b>	<b>Europe</b>	<b>America</b>	<b>Asia</b>	<b>Africa</b>	<b>Oceania</b>
PFOA	2.0	x	x	x	x
PFOS	1.0	x	x	x	x
PFNA	2.5	x	x	x	x
PFHxS	0.20	x	x	x	x
Total PFAS	x	x	x	x	x

x = not legislated.

Livelli di PFAS ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) permessi nel pesce (Schiavone et Portesi, 2023)

# Pareri dell'EFSA

2008: EFSA ha pubblicato un parere scientifico del gruppo di esperti scientifici sugli inquinanti nella catena alimentare, incentrato su PFOA, PFOS e i loro sali, che sono i sottoprodotti della degradazione dei PFAS nei polimeri, il contributo relativo di tali precursori alla contaminazione ambientale da PFOS e PFOA

2018: EFSA ha pubblicato la valutazione del rischio per la salute umana legato alla presenza di PFOS e PFOA negli alimenti, sottolineando la rilevazione di «PFOS e PFOA» in campioni di sangue di quasi tutti gli individui valutati, dimostrando un'esposizione ubiquitaria.

2020: EFSA ha pubblicato un parere scientifico affermando che carne di pesce, frutta e prodotti a base di frutta, uova e prodotti a base di uova erano le principali categorie che contribuiscono all'esposizione combinata al PFOA e all'acido perfluorononanoico (PFNA), PFHxS e PFOS per tutti i gruppi demografici. Considerando la dieta, come via di esposizione principale ai PFAS, i ricercatori dell'EFSA hanno stabilito una dose settimanale tollerabile (TWI) di 4,4 ng/kg (peso corporeo)/settimana sulla base dell'assunzione della somma di PFOA, PFNA, PFHxS e PFOS.

# Legislazione PFAS ambiente

## America:

- 2019: EPA ha presentato un piano d'azione (Action Plan) formale sui PFAS aggiornato al 2020, in cui sono descritte le azioni generali in corso per affrontare le sfide dei PFAS in ambiente sulla base dei seguenti task:
- Quali sono gli effetti sulla salute umana e sull'ambiente dell'esposizione ai PFAS?
- Quali sono le fonti significative, le vie del destino e del trasporto e le esposizioni all'uomo e agli ecosistemi?
- Quali sono i costi e l'efficacia dei diversi metodi di rimozione e bonifica dei PFAS nell'ambiente naturale ed edilizio?

# Action Plan sui PFAS dell'US-EPA

Le quattro azioni dell'Action Plan prevedono:

- avvio di misure per valutare la necessità di un livello massimo di contaminanti (MCL) come PFOA e PFOS;
  - avvio di disposizioni necessari per predisporre la designazione di PFOA e PFOS come «sostanze pericolose»
  - sviluppo di tecniche più accurate e innovative per identificare i contaminanti nell'acqua potabile, nel suolo e nelle acque sotterranee
  - Sviluppo di valori di tossicità o dosi orali di riferimento (RfD)<sup>2</sup> per le sostanze chimiche GenX3 e acido perfluorobutansolfonico (PFBS)
- Ottobre 2021: l'EPA ha presentato la tabella di marcia strategica PFAS (Agency's PFAS Strategic Roadmap), che rappresenta un passo importante e significativo per la salvaguardia della salute umana dalla contaminazione da PFAS.

## Europa:

- 2004: Regolamento (CE) n. 850/2004 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 29 aprile 2004, relativo agli inquinanti organici persistenti e che modifica la direttiva 79/117/CEE; tutela della salute umana e dell'ambiente dagli inquinanti organici persistenti mediante il divieto, l'eliminazione graduale o limitata produzione, l'immissione in commercio e l'uso di sostanze soggette alla convenzione di Stoccolma sugli inquinanti organici persistenti
- 2019: REGOLAMENTO (UE) 2019/1021 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 20 giugno 2019 relativo agli inquinanti organici persistenti che sostituisce il Regolamento (CE) n. 850/2004
- Gennaio 2023: le autorità nazionali di Germania, Danimarca, Paesi Bassi, Norvegia e Svezia hanno presentato all'Agenzia Europea per le Sostanze Chimiche (ECHA) una proposta di applicazione ridotta dei PFAS, con l'obiettivo di ridurre le emissioni di PFAS nell'ambiente e di rendere i prodotti e i processi più sicuri per le persone (ECHA/NR/23/01). L'obiettivo è in linea con le ambizioni della Strategia dell'UE sulle sostanze chimiche e del Piano d'azione "Inquinamento zero", che prevede la riduzione dei livelli di inquinanti nell'aria, nell'acqua e nel suolo e la creazione di un ambiente privo di sostanze tossiche (Iannone et al., 2024).

**Grazie per l'attenzione!**