

PFAS nelle acque naturali e potabili: stato dell'arte, rischi e soluzioni

Capire il problema, scegliere la tecnologia, garantire la sicurezza



Antonio Marcomini
Professore di Chimica Ambientale
Università Ca' Foscari di Venezia

Indice

- Introduzione (moli, nanomoli, n° di molecole)
- Che cosa sono i PFAS (Sostanze Alchiliche Per-/Poli-Fluorurate)
- Vecchi e nuovi PFAS, proprietà chimico-fisiche
- Presenza in ambiente, esposizione umana, effetti
- Regolamentazione (EU, ITA, VE)
- I PFAS in Italia e nell'Alto Vicentino
- Tecnologie di rimozione e di eliminazione
- Previsioni future
- Conclusioni

MOLTO VARIE, MA NORMALMENTE TRA qualche ng/L e qualche µg/L

COSA VUOL DIRE?

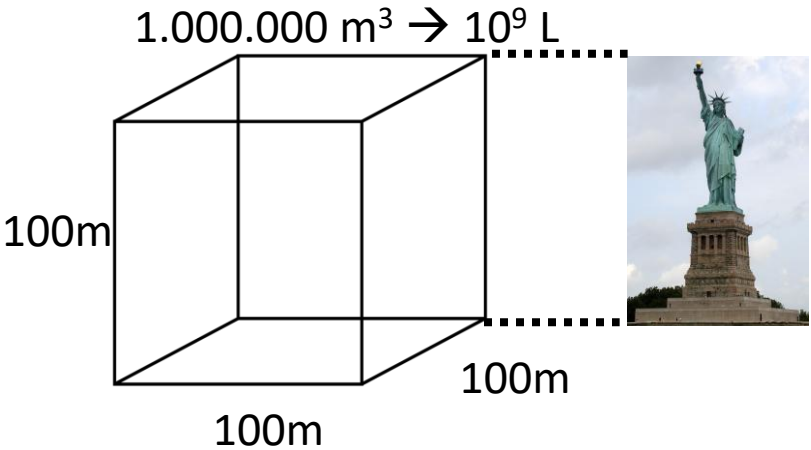
ppm	mg/L	$1 \cdot 10^{-3}$ g/L
ppb	µg/L	$1 \cdot 10^{-6}$ g/L
ppt	ng/L	$1 \cdot 10^{-9}$ g/L
ppq	pg/L	$1 \cdot 10^{-12}$ g/L



In 1 l acqua (0.001 m^3) $\rightarrow$ 5 g/L $\rightarrow$ 5000 ppm

Palazzina di
3 piani

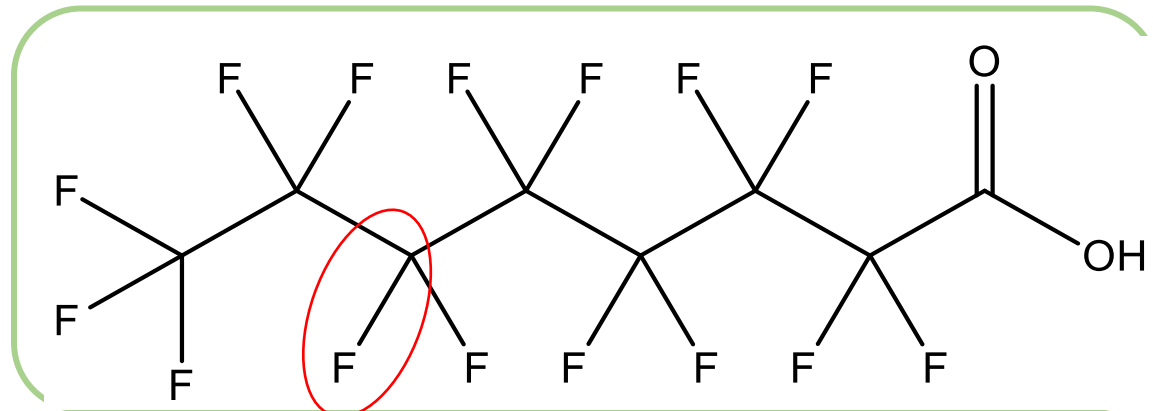
Lato cubo	Volume cubo	Conc.	
0.1 m	0.001 m^3	5 g/L	5000 ppm
1 m	1 m^3	5 mg/L	5 ppm
10 m	1000 m^3	5 µg/L	5 ppb
100 m	$1.000.000 \text{ m}^3$	5 ng/L	5 ppt



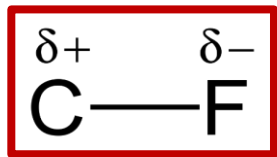


CHE COSA SONO I PFAS?

Sostanze **perfluoroalchiliche** e **polifluoroalchiliche**



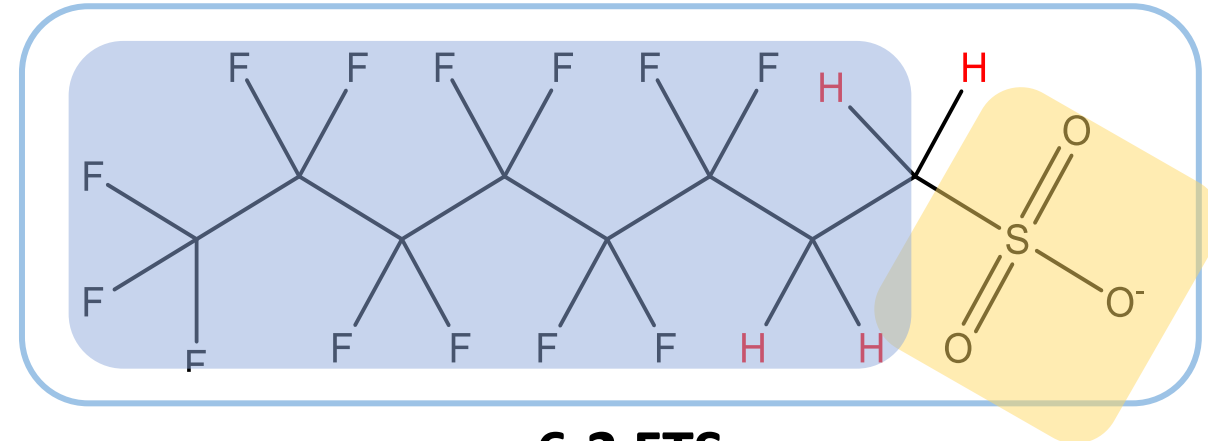
PFOA



Estrema stabilità chimica e termica

PERSISTENZA AMBIENTALE

> 4000 sostanze



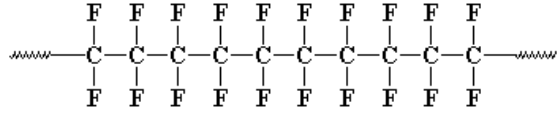
6:2 FTS

«CODA»
IDROFOBICA

«TESTA»
IDROFILICA

**OLEOREPELLENZA +
IDROREPELLENZA
CONTEMPORANEAMENTE!**

CHE COSA SONO I PFAS?



DUPONT- **TEFLON®**

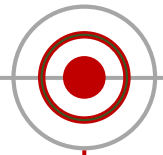


- **TEFLON®** IN MATERIALE DA CUCINA
- 3M COMMERCIALIZZA **SCHIUME ANTINCENDIO** CON PFOS



GORE-TEX®

1930'S

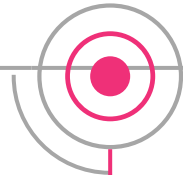


SCOPERTA
TEFLON®

1949



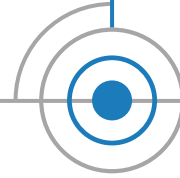
1956



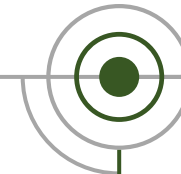
3M-**SCOTCHGARD®**



1962

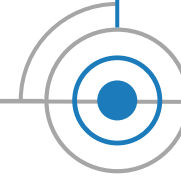


1967



DUPONT- **ZONYL®**
(FOOD PACKAGING)

1974



CHE COSA SONO I PFAS?

Fino ad arrivare
ad oggi...



<https://riversideca.gov/press/understanding-pfas>

Usati come:

- Additivi in diversi materiali come pelli, tessuti, schiume antincendio
- Tensioattivi nei processi industriali
- Sintesi di fluoropolimeri come il Teflon

Siti attuali di produzione principali: Cina, India

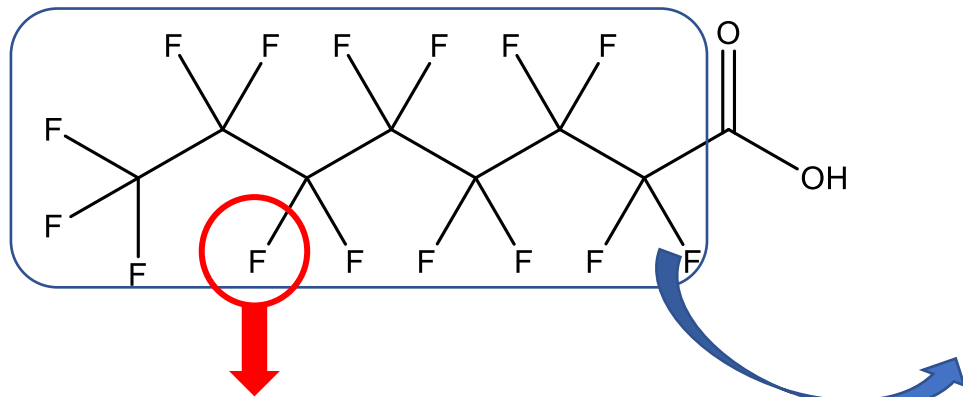
**Sintetizzate oltre
4000 sostanze**



PROPRIETA' CHIMICO-FISICHE

La lunghezza della catena carboniosa fluorurata è strettamente legata alle loro proprietà e quindi al comportamento ambientale e tossicologico

Aumento lunghezza catena	Proprietà	Variazione
	Solubilità	Diminuisce
	Bioaccumulo	Aumenta
	Peso molecolare	Aumenta
	Tendenza a volatilizzare	Diminuisce

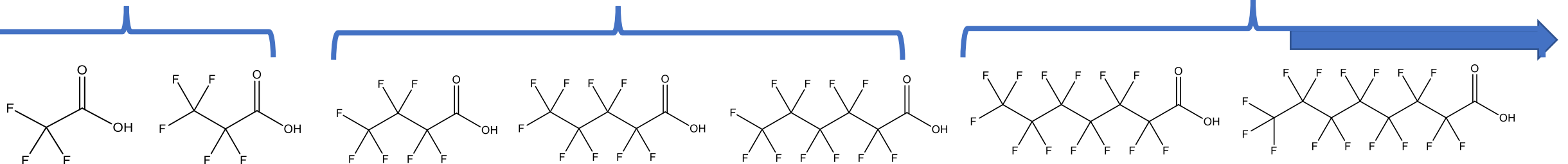


La presenza diffusa di fluoro nella molecola è alla base della loro natura di **acidi forti**

CATENA ULTRA CORTA

CATENA CORTA

CATENA LUNGA



2

3

4

5

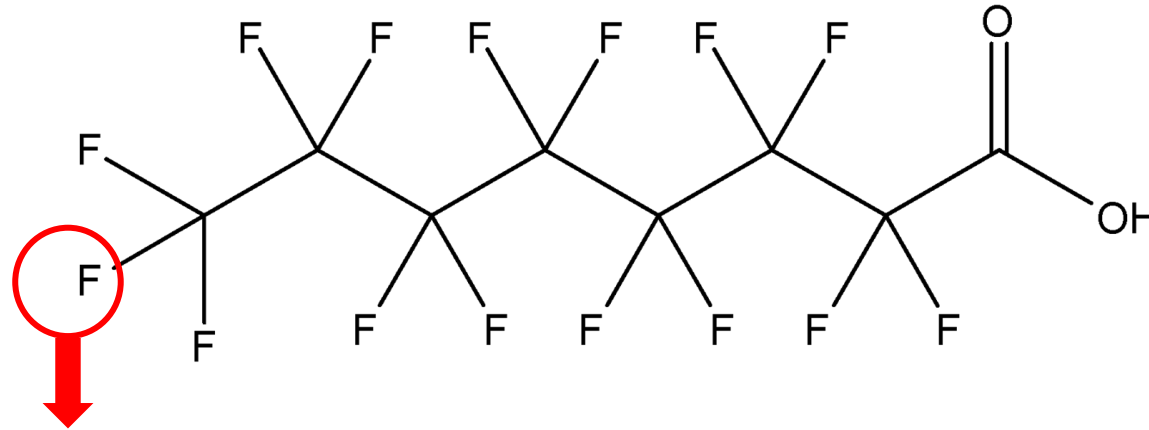
6

7

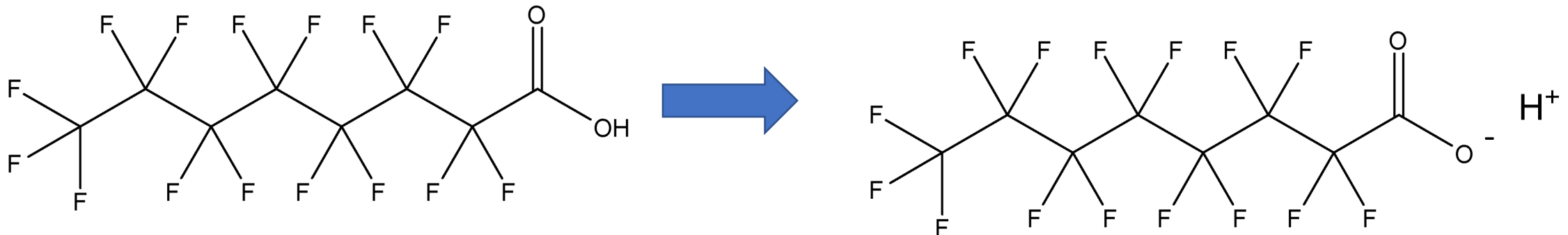
8

9

(2, 3, 4... = n° atomi di carbonio)

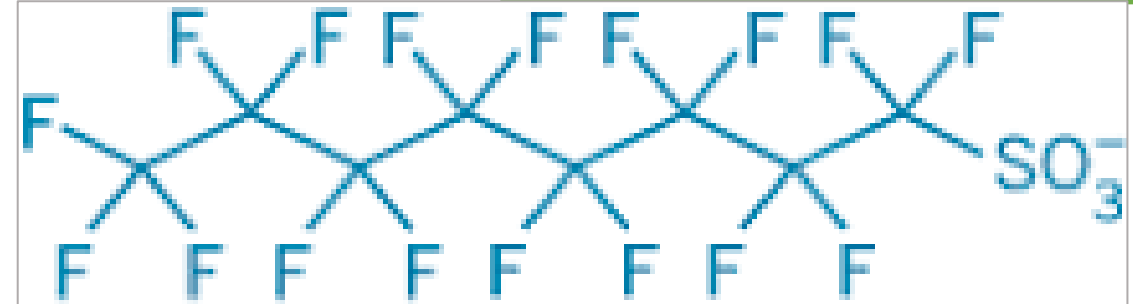


- **Particolarmente stabili**
- **Acidi forti: completamente dissociati nelle acque naturali**

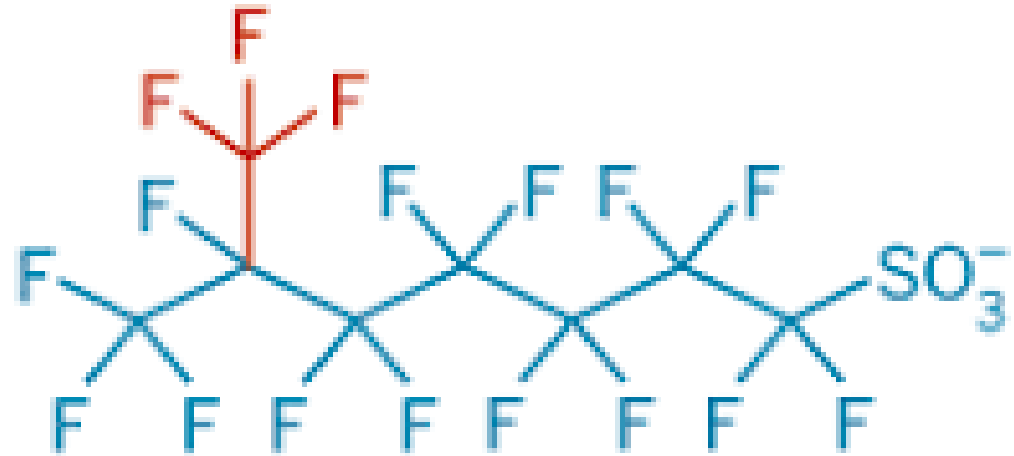


Alcuni PFAS sono prodotti come
ISOMERI

- Lineari
- Ramificati



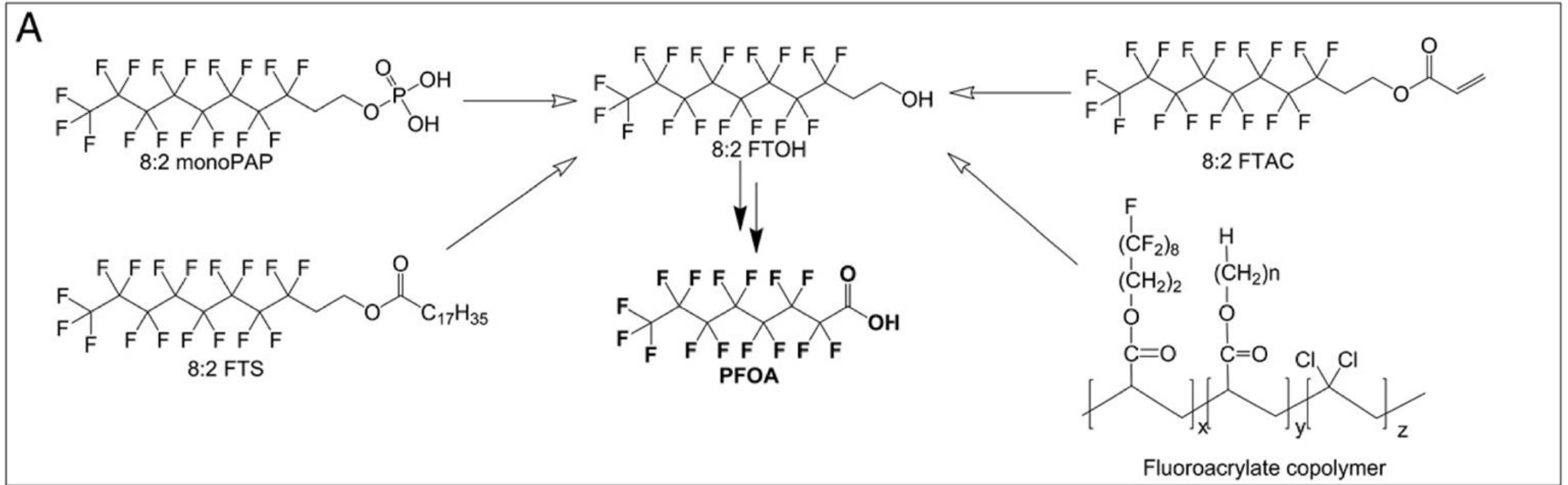
PFOS linear isomer



PFOS branched isomer

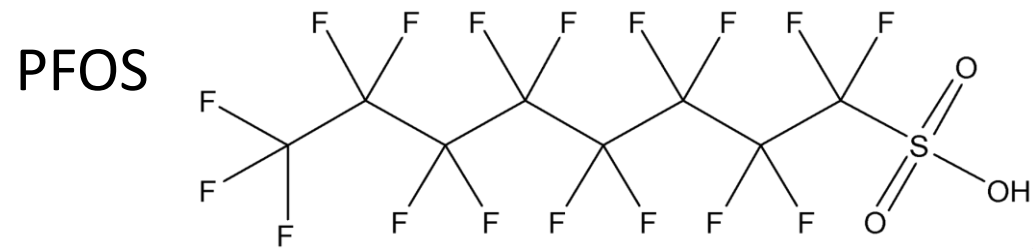
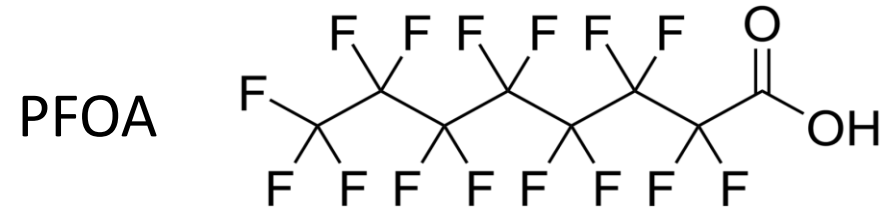
Sempre $\text{C}_8\text{F}_{17}\text{SO}_3^-$
Sempre «PFOS»



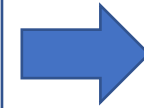


Le sostanze POLfluoroalchiliche sono generalmente considerabili come **PRECURSORI** delle sostanze PERfluoroalchiliche (degradazione negli impianti di depurazione e nell'ambiente)

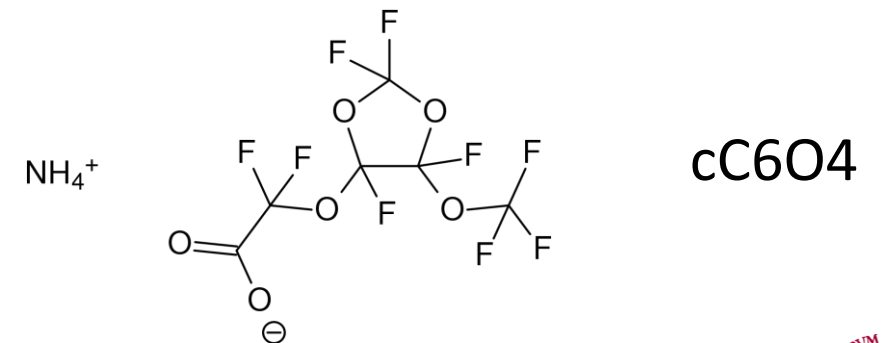
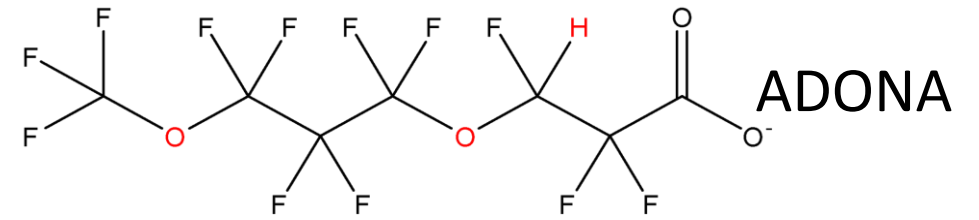
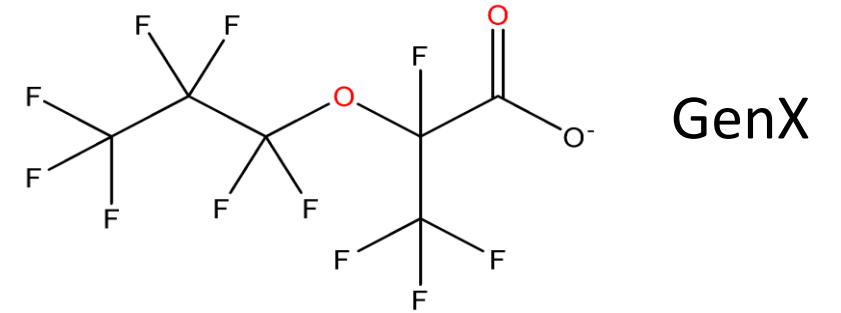
Dalla 1° generazione di PFAS «lunghi», e con solo carbonio e fluoro nella coda...



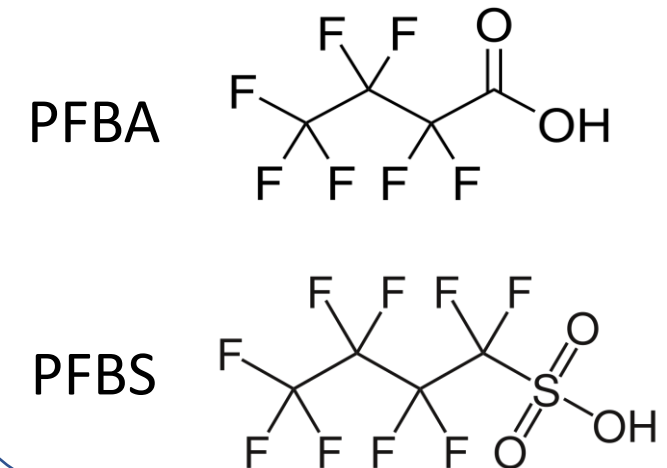
PERSISTENTI E MOBILI



...alla 3° generazione di PFAS con modifiche nella struttura

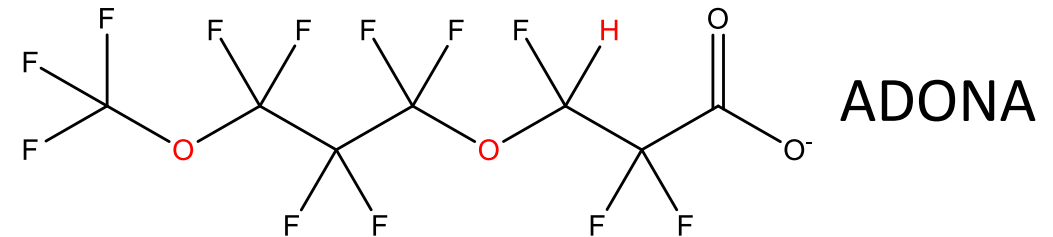
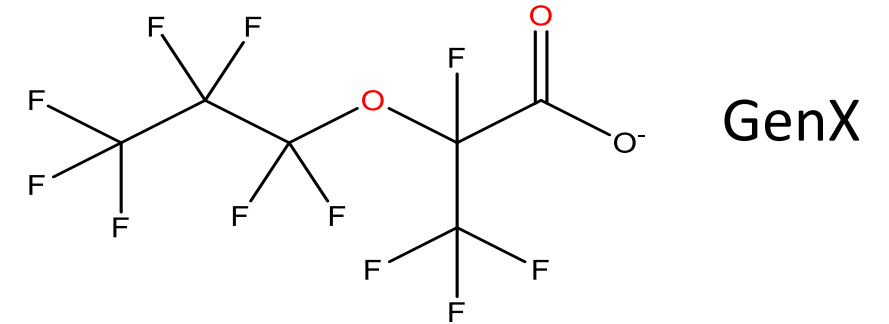


...alla 2° generazione di
PFAS «corti»



	PFBA	PFBS	PFHxA	PFHxS	PFOA	PFOS
Ratto	0.3	0.2	0.05-0.2	7	5	25
Scimmia	2	4	1	100	21	45
Umano	3-4	26	<28	3000	1000	1500

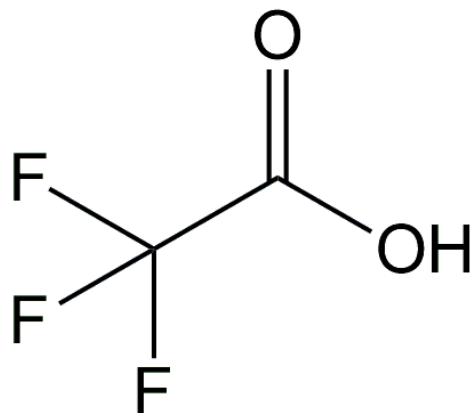
...ai PFAS modificati nella struttura



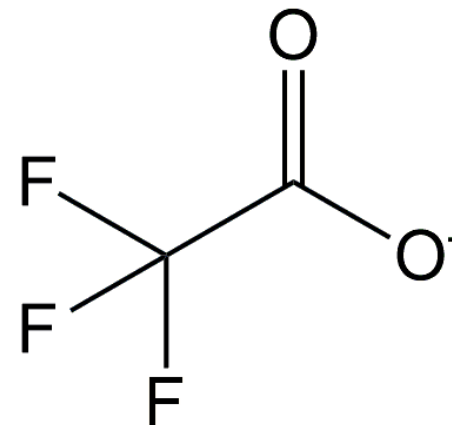
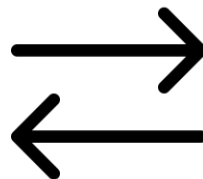
Chemical structure of F-53B (6:2 Cl-PFESA) is shown, featuring a perfluorinated chain with a chlorine atom and a sulfonate group.

La crescente preoccupazione per la diffusione del TFA

PFCA ultra-corti		PFCA corti				PFCA catena lunga			
TFA	PeFPrA	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnA
Trifluoric Acid	PeFEtSA	PFBS	PFPeS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFNS	PFDS	PFUnS
PFSA ultra-corti		Short-chain PFSA		PFSA catena lunga					



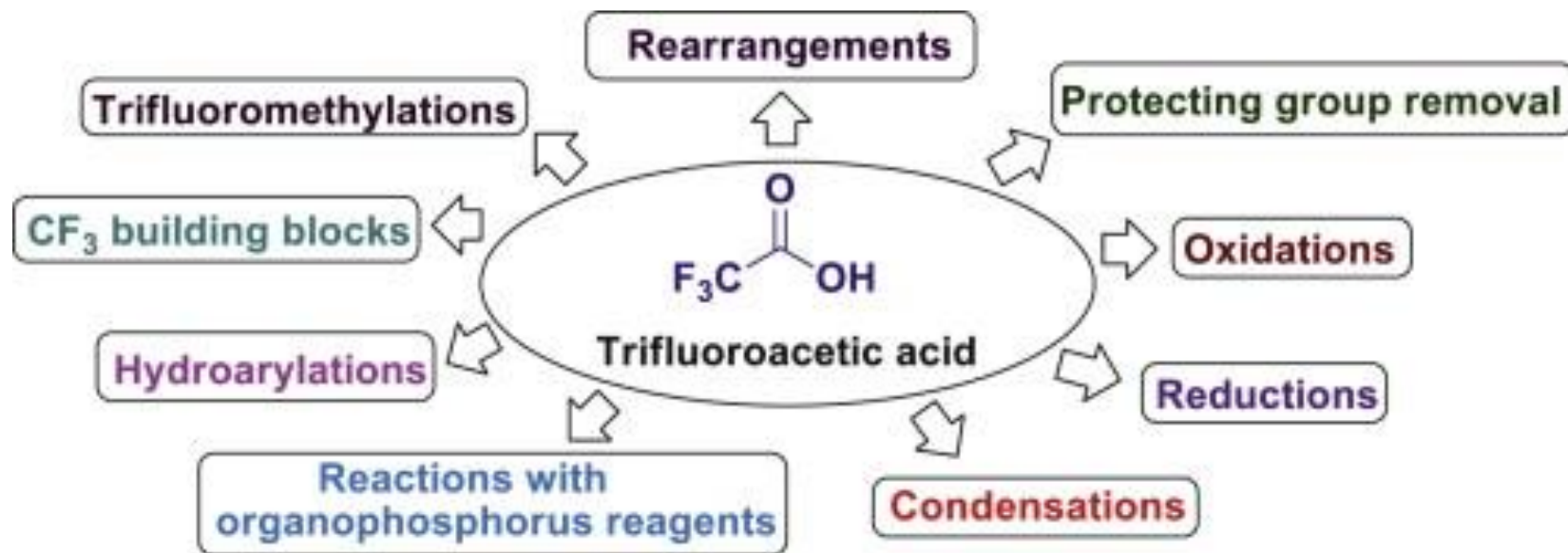
Acido
trifluoroacetico
(CAS 76-05-1)



Trifluoroacetato

TFA – impieghi e quantità prodotte/importate

Ampiamente utilizzato come solvente, catalizzatore e reagente nella sintesi organica



Da Lopez et al., 2013.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfluchem.2013.09.004>

Prodotto/importato in quantità di 100–1000 t/anno a livello UE (REACH)

EFFETTI SULLA SALUTE UMANA

polvere



bevande



aria

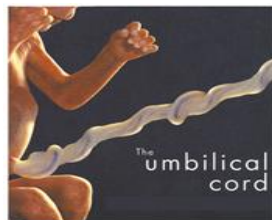


cibo



sangue

cordonale



latte materno



sangue materno



I PFAS sono stati identificati per la prima volta nel corpo umano alla fine degli anni '70, quando la 3M Company rilevò PFOS nel siero sanguigno dei propri dipendenti.

EFFETTI SULLA SALUTE UMANA

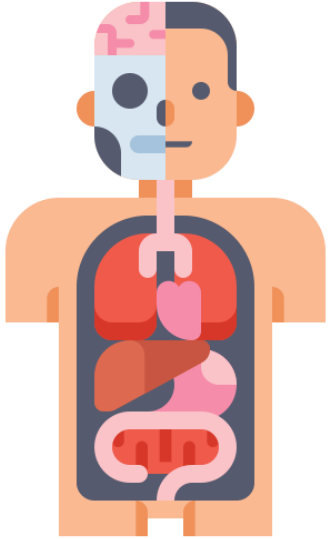


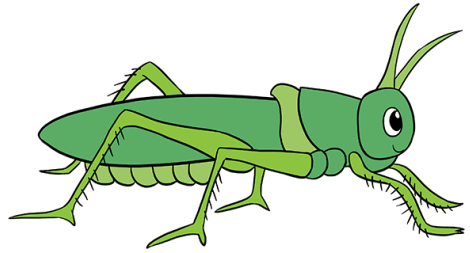
Image: Flaticon.com

- Cancerogeni (PFOA) e sospetti cancerogeni (PFOS)
- Perturbatori endocrini
- Bioaccumulabili, persistenti
- Aumento di livello del colesterolo nel siero umano
- Associati ad alterazioni cardiovascolari

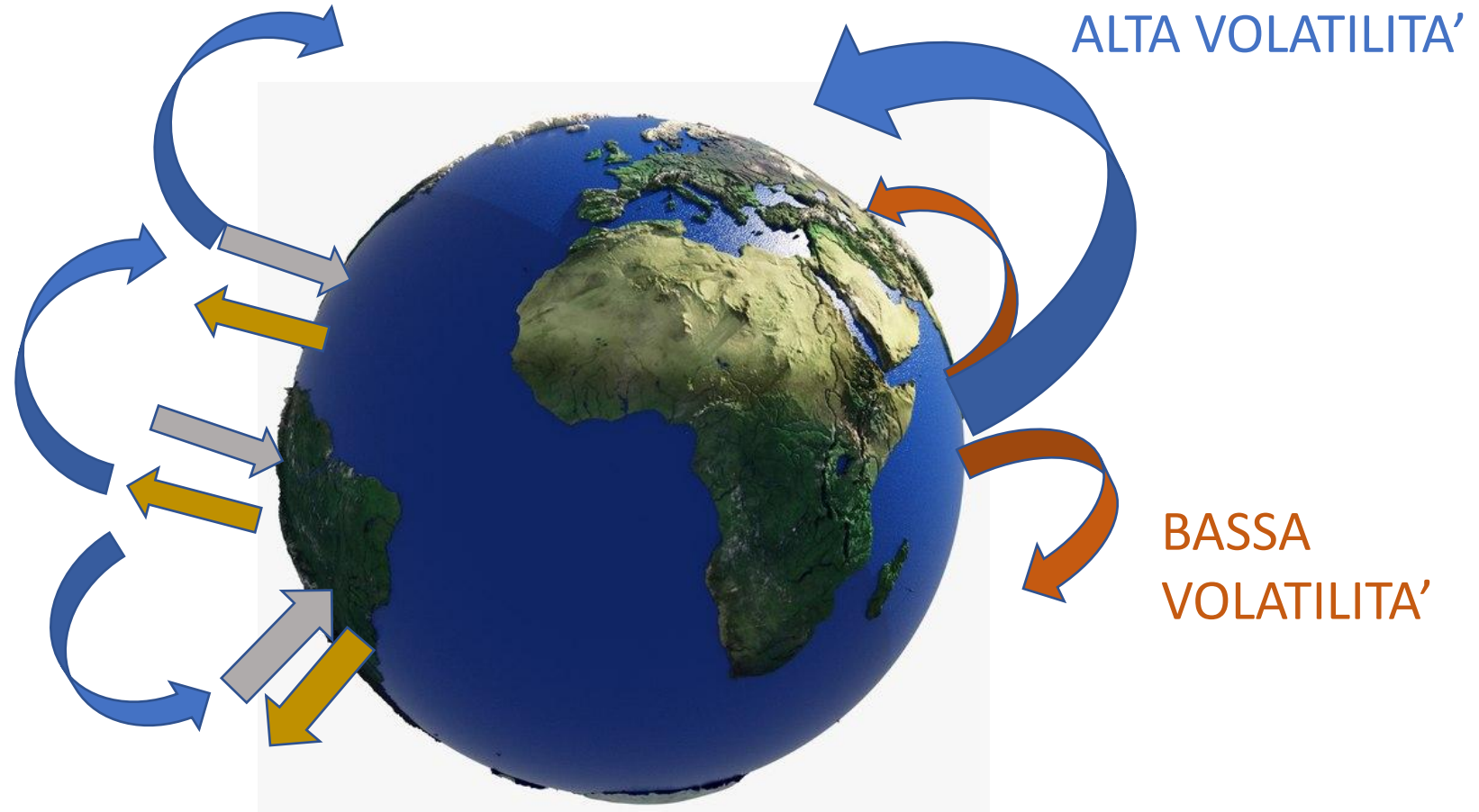
Primi riconoscimenti di **malattia professionale** per i lavoratori della MITENI. Il 6 ottobre 2020 l'Inail ha accertato per due ex lavoratori dell'azienda “una menomazione dell'integrità psicofisica” derivante dalla concentrazione di PFOA e PFOS nel sangue.

PRESENZA IN AMBIENTE

TRASPORTO A LUNGO RAGGIO, "DISTILLAZIONE GLOBALE"



DEPOSIZIONE,
EVAPORAZIONE

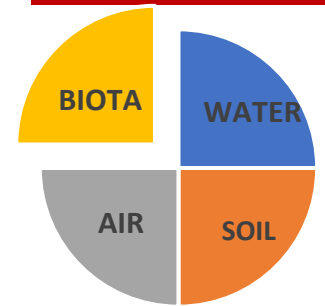


SONO SOSTANZE UBIQUITARIE

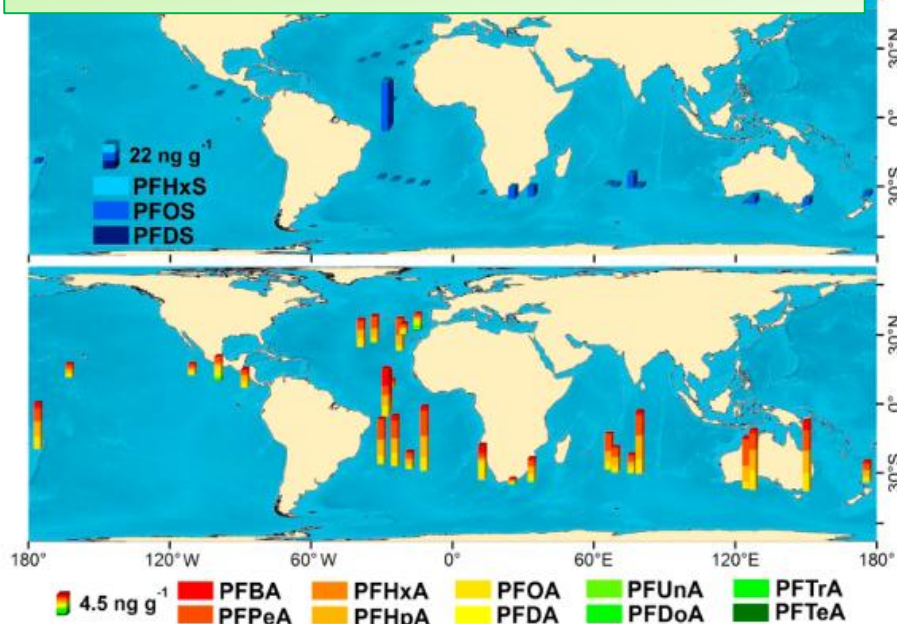
PRESENZA IN AMBIENTE

biomagnificazione

BIOTA



DAL PLANKTON... (decine di ng/g)



Environmental
Science & Technology

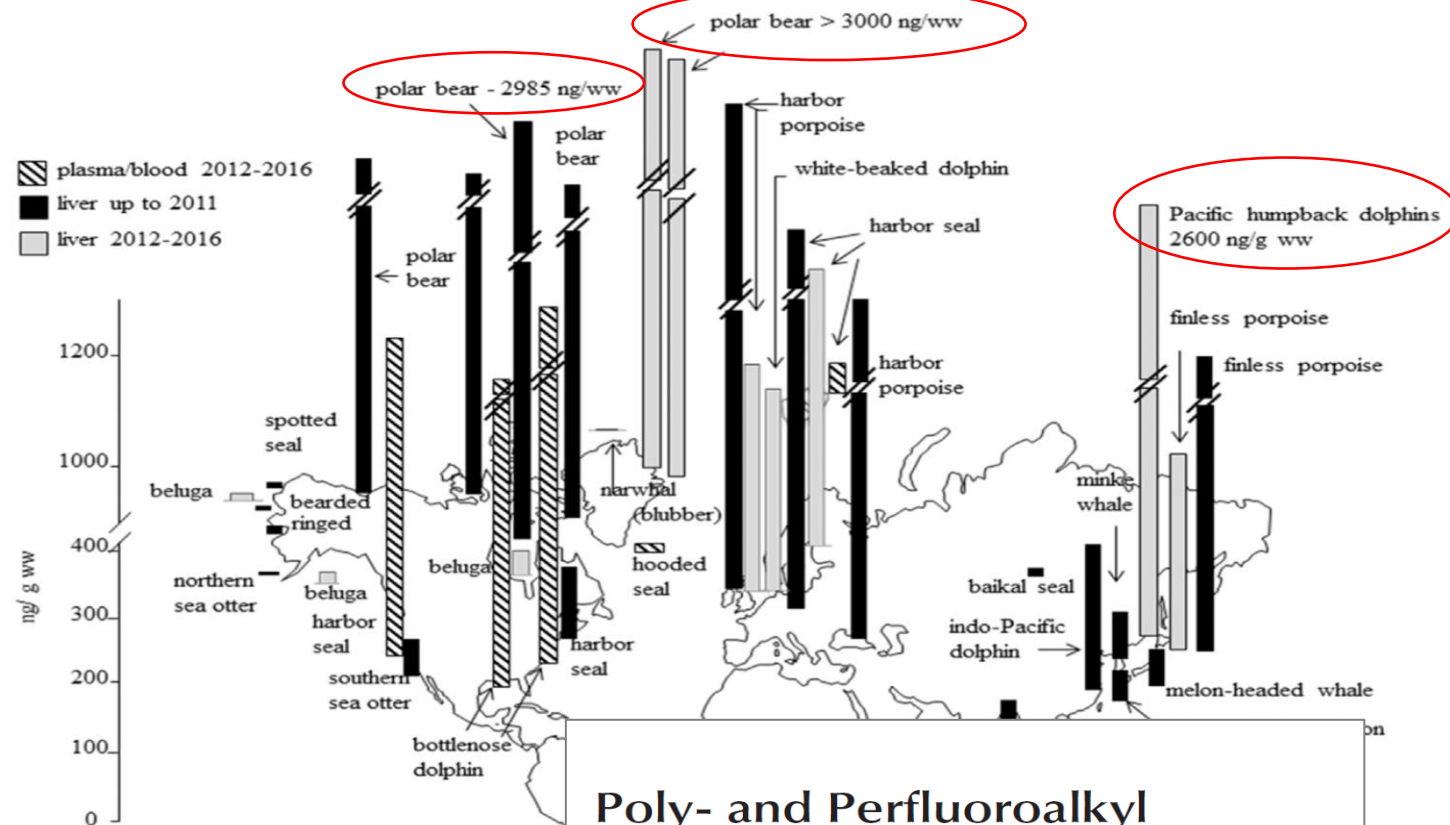
Article

pubs.acs.org/est

Accumulation of Perfluoroalkylated Substances in Oceanic Plankton

Paulo Casal,[†] Belén González-Gaya,^{†,*} Yifeng Zhang,[§] Anthony J. F. Reardon,[§] Jonathan W. Martin,[§] Begoña Jiménez,[‡] and Jordi Dachs^{*,†,‡}

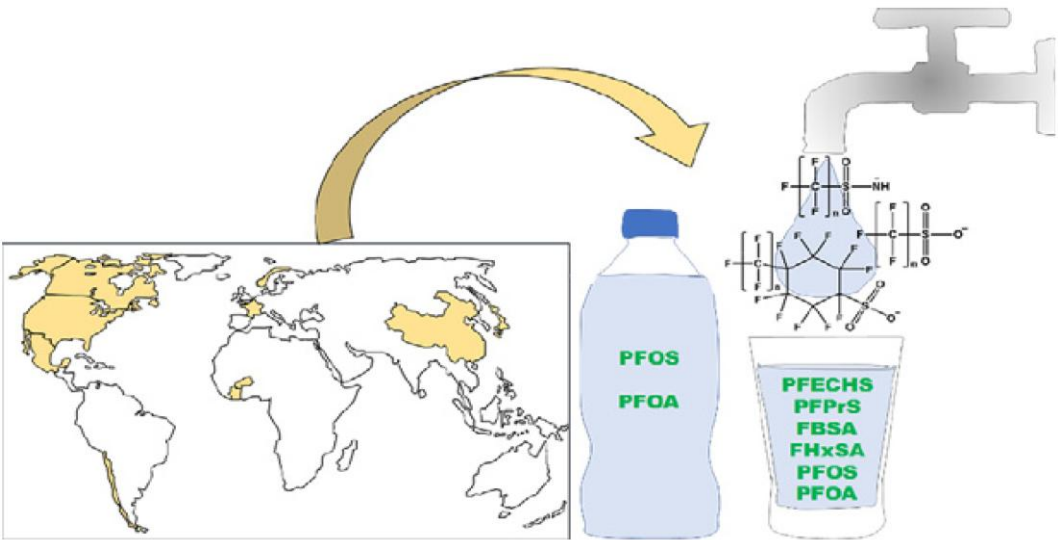
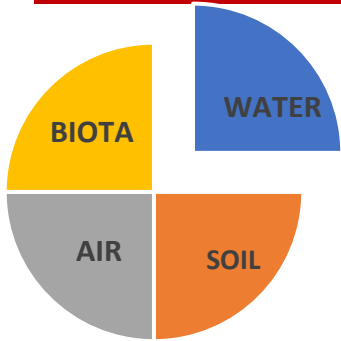
...AGLI ORSI POLARI (migliaia di ng/g)



Poly- and Perfluoroalkyl Substances in Marine Mammals

Patricia A. Fair¹, Magali Houde²

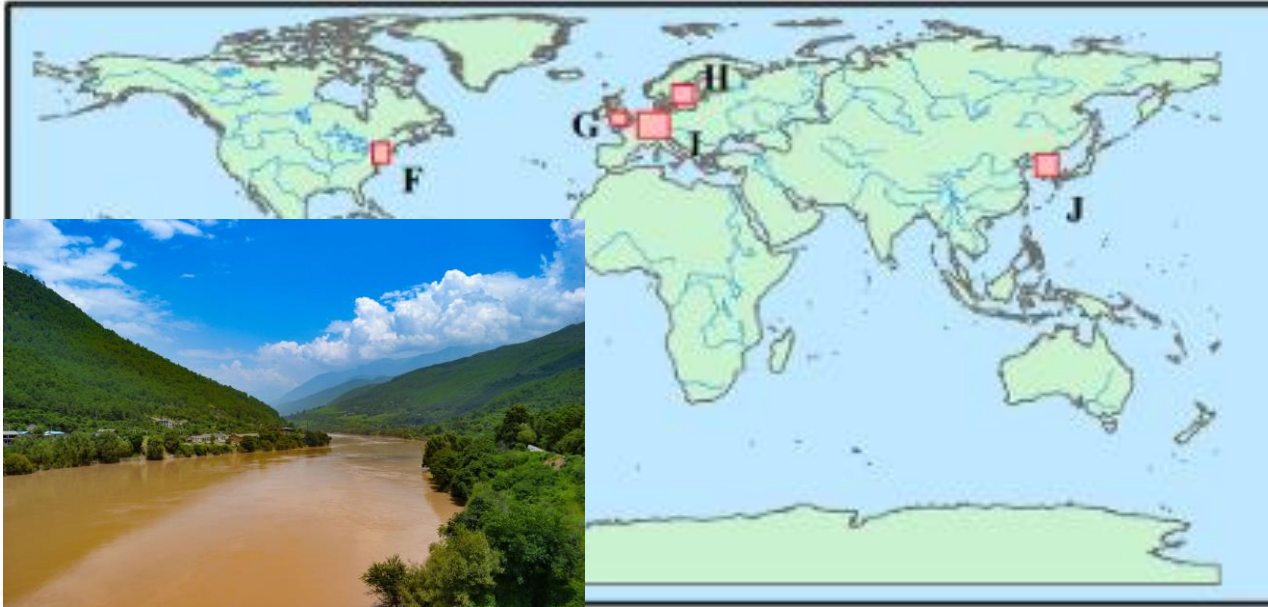
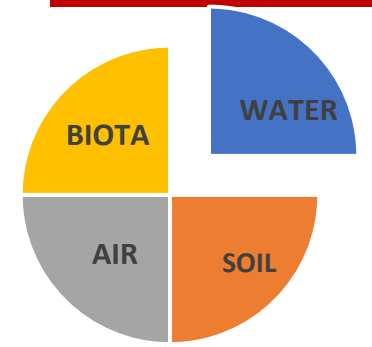
¹Medical University of South Carolina, Charleston, SC, United States; ²Aquatic Contaminants Research Division, Environment and Climate Change Canada, Montreal, QC, Canada



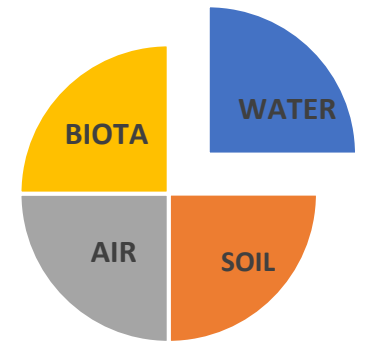
29 PFAS esaminati in 97 campioni di acqua potabile provenienti dal Canada e da altri paesi (Burkina Faso, Cile, Costa d'Avorio, Francia, Giappone, Messico, Norvegia e Stati Uniti) nel 2015-2016.

PFAS class	Media (ng/L) acqua in bottiglia	Media (ng/L) acqua di rubinetto
Σ PFCAs	0.62	4.1
Σ PFSAs	0.50	1.6
Σ TOTALE 29 PFASs	1.1	7.1

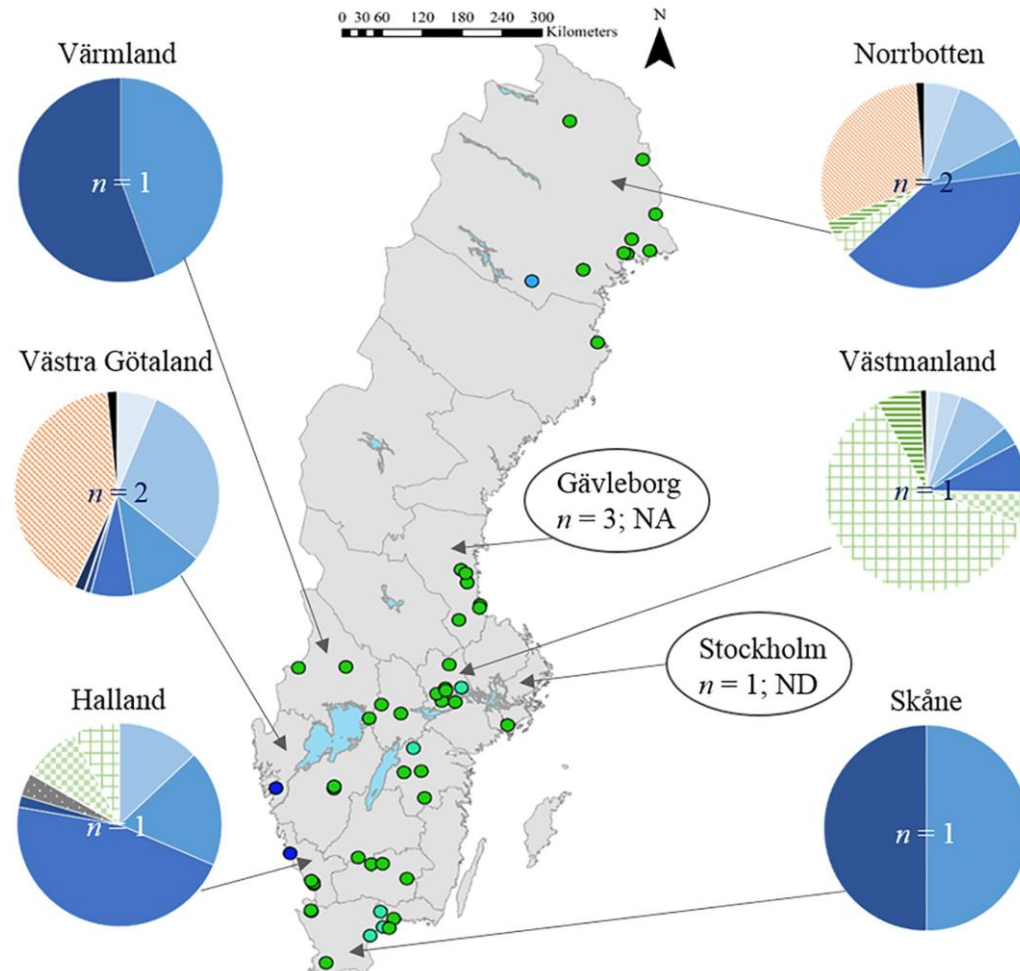
- Dove
- Σ = SOMMATORIA
 - PFCAs e PFSAs = acronimi relativi a due importanti sottoclassi dei PFAS



Uno studio ha individuato molti tipi di PFAS in tutti i corpi d'acqua dolce (fiumi e laghi) considerati dagli autori (Cina, UK, USA, Svezia, Germania, Olanda, Corea del Sud), con un range di concentrazione da **poche decine a qualche centinaio di ng/L.**



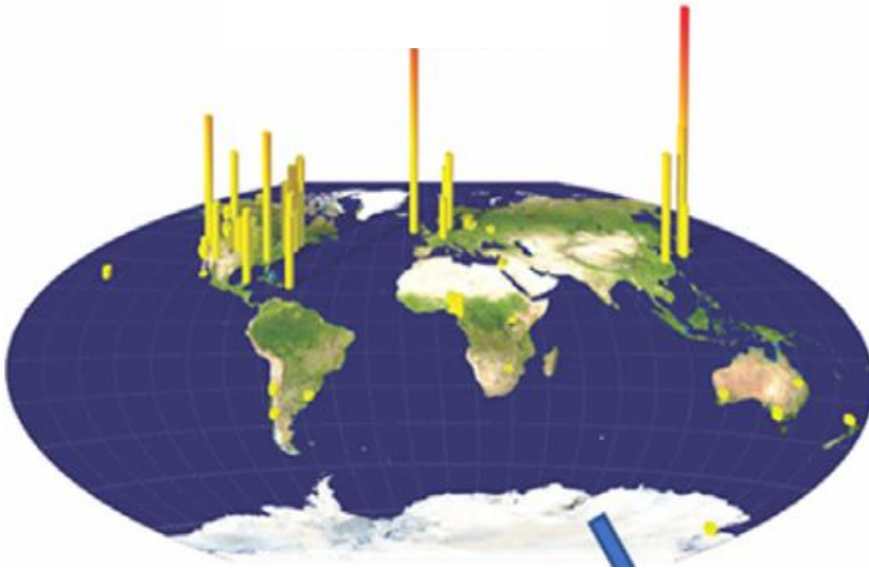
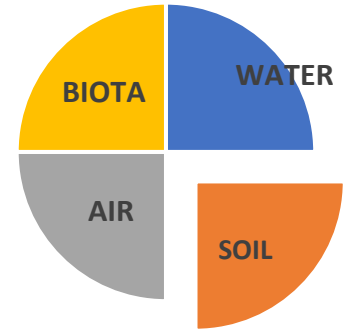
Gobelius et al., 2018. *Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Swedish Groundwater and Surface Water: Implications for Environmental Quality Standards and Drinking Water Guidelines*



Presenza diffusa di PFAS nelle acque sotterranee del territorio svedese

ND = non rilevati; NA = non disponibile

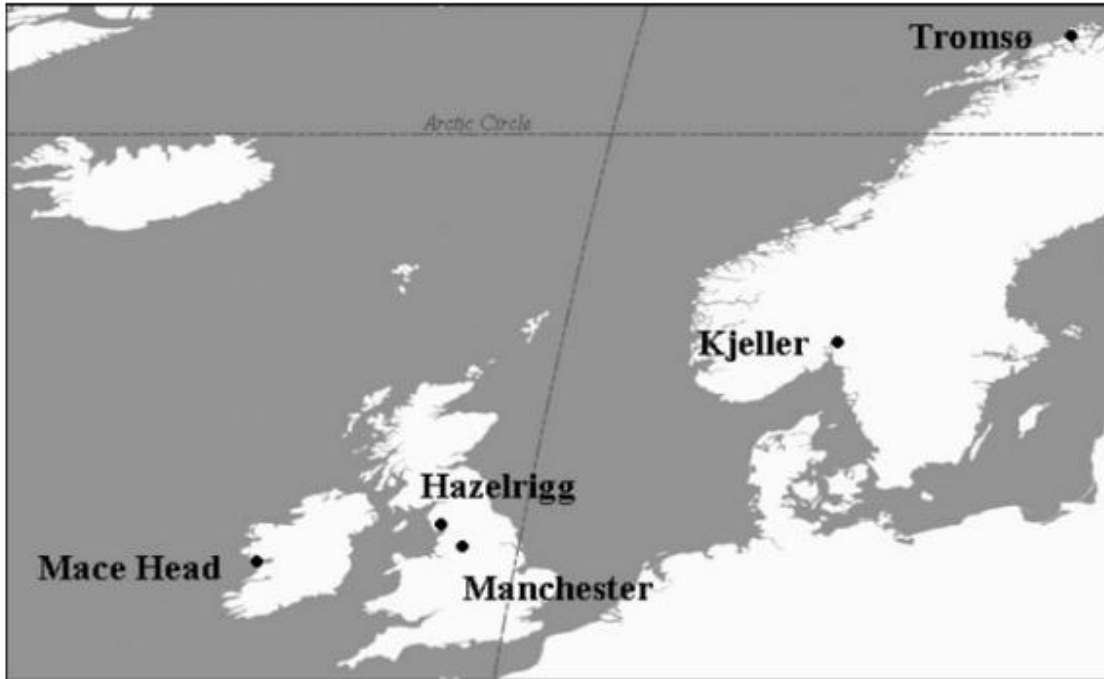
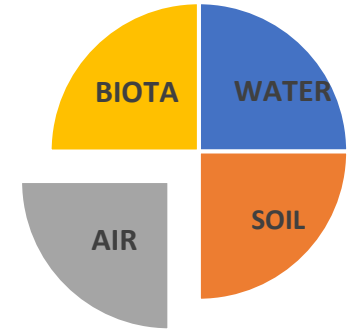
Rankin et al., 2016. *A North American and global survey of perfluoroalkyl substances in surface soils: Distribution patterns and mode of occurrence*



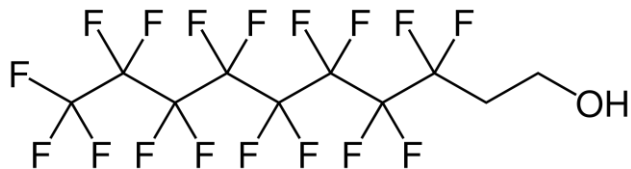
Individuati 32 PFAS in suoli superficiali provenienti da 62 località (America, Europa, Asia, Africa, Australia, Antartide), **fino a qualche decina di $\mu\text{g/g}$.**

PFOS e PFOA I più abbondanti.

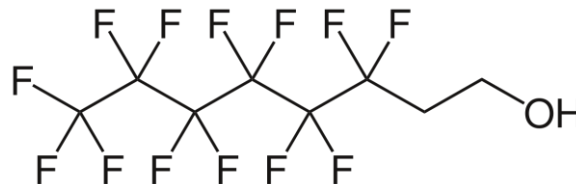
Barber et al., 2007. *Analysis of per- and polyfluorinated alkyl substances in air samples from Northwest Europe*



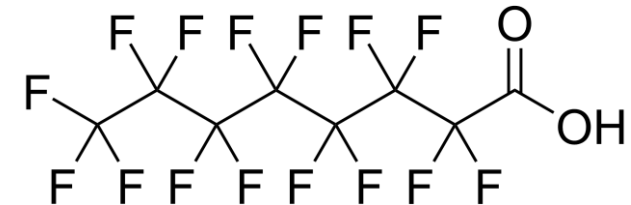
- UK, Irlanda, Norvegia
- PFOA, 8:2 FTOH e 6:2 FTOH trovati sistematicamente nei campioni di aria con concentrazioni tra **1-88 pg/m³**



8:2 FTOH



6:2 FTOH



PFOA

I PFAS IN ITALY

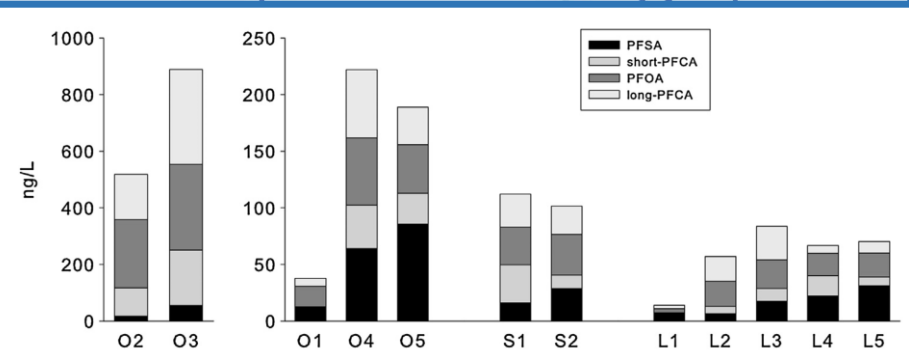
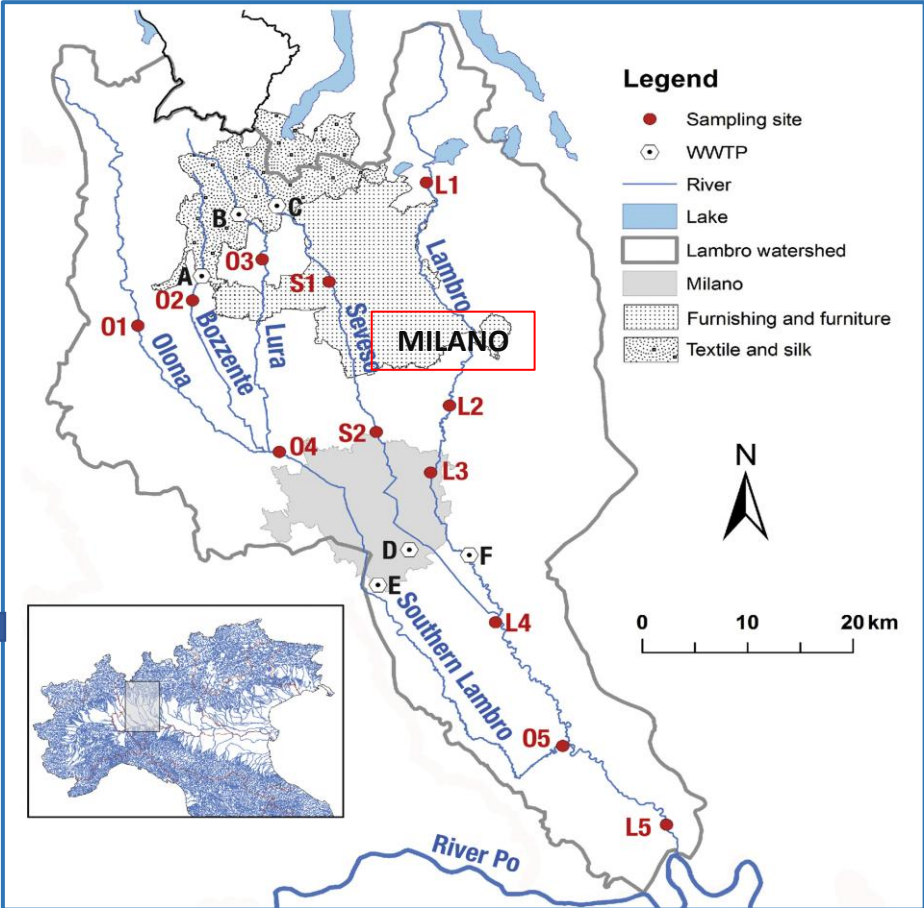


Kirchgeorg et al., 2018. Seasonal accumulation of persistent organic pollutants on a high-altitude glacier in the Eastern Alps

- Ortles Glacier
- Ice core samples
- $\Sigma 18$ PFAS ranged from 1 to 5.8 ng/L

- Lambro river basin (highly urbanized/industrialized)
- Surface water samples
- Range ~15 to 889 ng/L

Castiglioni et al., 2015. Sources and fate of perfluorinated compounds in the aqueous environment and in drinking water of a highly urbanized and industrialized area in Italy



- Indagine sulla presenza e sulle fonti di 11 PFAA nei principali bacini fluviali in Italia
- Le concentrazioni totali di PFAA variano da < LOD a 8 µg/L, con concentrazioni più elevate nei fiumi dove sono presenti scarichi industriali
- Carico annuo $\Sigma 11\text{PFAA}$ = 7.5 tonnellate (39% PFBS, 32% PFOA, 22% PFCA a catena corta, 6% PFOS e 1% PFCA a catena lunga).
- Po e Brenta rappresentano il 57% del carico totale stimato di PFAA

Bacino	Fiume	N	ΣPFAA (ng/L)
			Media
Adige	Adige	3	1
	Alpone	2	16
Arno	Arno	1	79
	Bisenzio	1	173
	Ombrone	2	418
Brenta	Brenta	2	1230
	Bacchiglione	1	131
	Fratta-Gorzone	2	2886
Po	Po	7	80
	Bormida	21	1911
	Tanaro	11	625
	Strona	1	45
	Toce	2	<LOD
	Ticino	2	111
	Lambro	5	101
	Adda	4	206
	Oglio	3	54
	Mincio	3	13

Bacino scolante
Laguna di Venezia,
Bacchiglione,
Brenta,
Canalbianco, Fratta-
Gorzone, Livenza,
Po, Sile

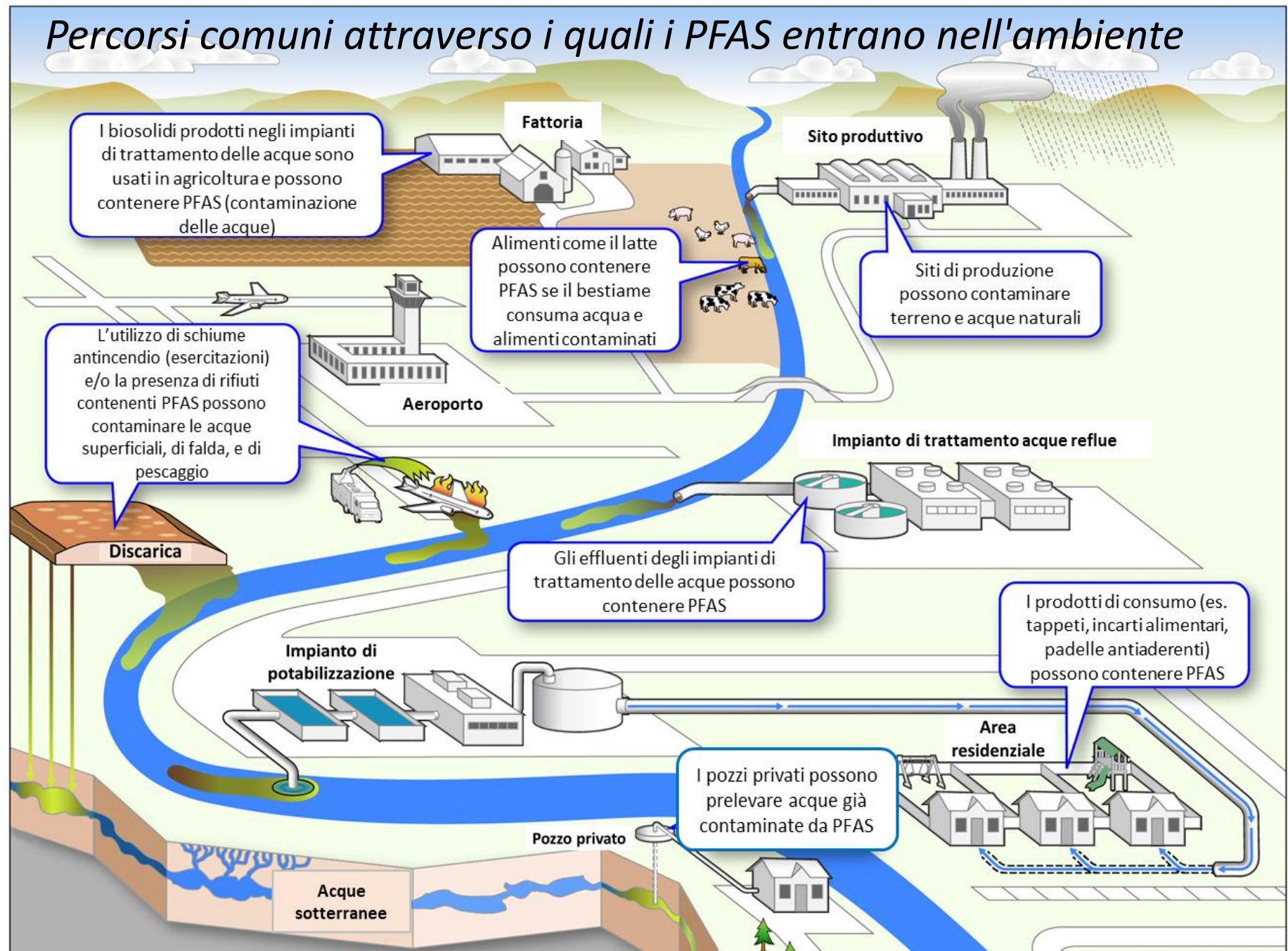
1284 misure totali

https://www.arpav.veneto.it/arpav/pagine-generiche/allegati-pagine-generiche/pfas-relazioni-attivita-arpav/AGGIORNAMENTO%20RELAZIONE%20PFAS%20ARPAV%202019_05_13.pdf

PFAS	Presenze totali	Valore max rilevato (ng/L)	Valore medio (ng/L)	SQA-MA acque interne (ng/L)	SQA-CMA acque interne (ng/L)
PFBS	795	2685	81	3000	
PFBA	801	1627	69	7000	
PFPeA	600	450	29	3000	
PFHxS	172	70	<10		
PFHxA	632	474	30	1000	
PFHpA	320	260	<10		
PFOS	599	424	14	0.65	36000
PFOA	827	3417	127	100	
PFNA	9	885	<10		
PFDaA	28	37	<10		
PFUnA	2	22	<10		
PFDaA	15	22	<10		

DOVE SI TROVANO?

Percorsi comuni attraverso i quali i PFAS entrano nell'ambiente



Government Accountability Office nella relazione GAO-21-37: 'Man-Made Chemicals and Potential Health Risks, EPA Has Completed Some Regulatory-Related Actions for PFAS'. Tratto da Brennan et al., 2021.

CLASSIFICAZIONE PFAS

Contaminanti emergenti

Rappresentano inquinanti prioritari ed emergenti

Destino ambientale?
Effetti sulla salute?

Spesso non normati

Non necessariamente introdotti di recente

Inquinanti organici persistenti (POPs)

Persistenza

Trasporto a lungo raggio

Bioaccumulo e biomagnificazione

Tossicità



PFOA e PFOS ***inquinanti organici persistenti***

- eliminazione (PFOA e suoi sali)
- restrizione (PFOS, suoi sali e PFOSF) con
- altri PFAS (PFHxS, C9-C14 PFCA) candidati per l'inclusione



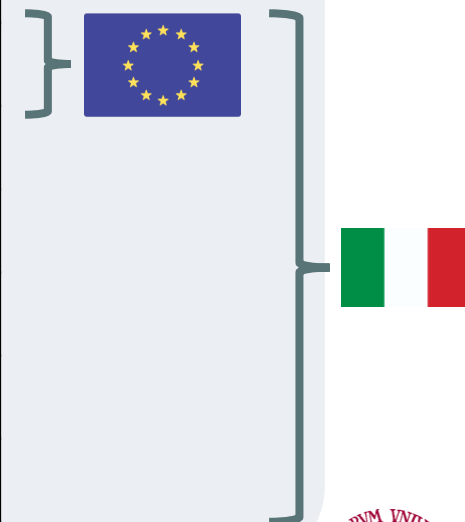
- **Regolamento sui POP (recezione Convenzione Stoccolma)→** PFOS, PFOA
- Uso e produzione di alcuni PFAS sono limitati secondo il regolamento **REACH**, e altri sono nella lista di «sostanze altamente preoccupanti» in termini di persistenza, mobilità e tossicità (compresi PFBS e GenX!)
- EFSA→ **Dose settimanale tollerabile** (soglia sicurezza) per somma di PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS= 4.4 nanogrammi per Kg peso corporeo



Direttiva quadro sulle acque (2000/60/CE.)



	AA-SQA (Acque superf. interne) (ng/L)	AA-SQA (Altre acque superf.) (ng/L)	MAC-SQA (Acque superf. interne) (ng/L)	MAC-SQA (Altre acque superf.) (ng/L)	Biota EQS (Pesci) (µg/L)
PFOS	0.65	0.13	36000	7200	9.1
PFBA	7000	1400	-	-	-
PFPeA	3000	600	-	-	-
PFHxA	1000	200	-	-	-
PFOA	100	20	-	-	-
PFBS	3000	600	-	-	-



Parere sul rischio per la salute umana legato alla presenza di sostanze perfluoroalchiliche negli alimenti.

Anno	PFAS considerati	Tipo di limite	Valore	Effetto critico considerato
2008	PFOS, PFOA	DGT (dose giornaliera tollerabile)	PFOS: 150 ng/kg p.c./giorno PFOA: 1500 ng/kg p.c./giorno	Basato sui dati tossicologici disponibili all'epoca.
2018	PFOS, PFOA	TWI (assunzione settimanale tollerabile)	PFOS: 13 ng/kg p.c./settimana PFOA: 6 ng/kg p.c./settimana	Aumento del colesterolo sierico negli adulti; ridotta risposta anticorpale ai vaccini nei bambini; ridotto peso alla nascita.
2020	PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS	TWI di gruppo	4.4 ng/kg p.c./settimana	Ridotta risposta anticorpale alla vaccinazione nei bambini (endpoint più sensibile).

Direttiva (UE) 2020/2184, acque destinate al consumo umano, i.e. acque potabili



Parametro	Limite di concentrazione (µg/L)	Definizione	PFAS inclusi
Somma dei PFAS	0.10	Somma di 20 PFAS specificati individualmente nella Direttiva UE/2020/2184.	PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFTTrDA, PFTeDA, PFBS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFNS, PFDS, PFUnDS, PFDoDS, PFTeDS
PFAS totali	0.50	Concentrazione totale di tutti i PFAS, determinata mediante metodi analitici non mirati o indicativi (es. EOF, test TOP).	Decisione dei singoli Stati

Decreto correttivo del 2025 (D.lgs. 102/2025):

“Somma di PFAS” = 0,10 µg/L, ma specifica anche che nel parametro devono essere considerati PFAS supplementari non inclusi nell’Allegato III, parte B, punto 3, quando rilevanti per specifiche circostanze territoriali, sulla base delle analisi di pressione e di altre informazioni disponibili.



Direttiva (UE) 2020/2184

In più, sempre nel 2025, l'Italia ha introdotto un parametro aggiuntivo che **non è nella direttiva UE come tale**: la **“Somma di 4 PFAS” = 0,02 µg/L**, definita come la somma di **PFOA, PFOS, PFNA e PFHxS**. Nello stesso intervento normativo è stato anche introdotto il parametro per **acido trifluoroacetico (TFA)**.



Supplemento ordinario n. 24/L alla GAZZETTA UFFICIALE

Somma di 4 PFAS	0,02	µg/l	Per «somma di 4 PFAS» si intende la somma delle seguenti sostanze: acido perfluorooctanoico (PFOA), acido perfluorooctansolfonico (PFOS), acido perfluorononanoico (PFNA) e acido perfluoroesano solfonico (PFHxS). Si tratta di un sottoinsieme di sostanze incluse nel parametro “somma di PFAS”. L’Autorità sanitaria locale preposta al controllo della qualità delle acque destinate al consumo umano, sentita l’autorità sanitaria regionale e l’Istituto superiore di sanità, può adottare valori più restrittivi in specifiche circostanze territoriali, tenuto conto in particolare dell’esposizione pregressa alle sostanze per- e polifluoroalchiliche della popolazione interessata.
Acido trifluoroacetico	10	µg/l	



Proposte di revisione della Direttiva quadro sulle acque (WFD), della Direttiva sulle acque sotterranee (GWD) e della Direttiva sugli standard di qualità ambientale (EQSD) (2022)

Direttiva	Parametro	Limite proposto (ng/L)	PFAS inclusi
WFD / GWD (Revisioni proposte)	AA-EQS / GWQS (Somma di 24 PFAS, basata su RPF)	4.4	PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFTrDA, PFTeDA, PFBS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFNS, PFDS, 6:2 FTSA, 8:2 FTSA, HFPO-DA (GenX), ADONA, DONA, 6:2 Cl-PFESA, 8:2 Cl-PFESA

A ciascuno dei 24 PFAS è assegnato un RPF relativo all'acido perfluorooottanoico (PFOA, RPF = 1)

Basato principalmente su evidenze di tossicità epatica nei roditori*



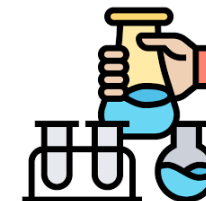
Valori di CSC (Concentrazione Soglia di Contaminazione) per siti contaminati (acque sotterranee e suoli)

L'Istituto Superiore di Sanità con parere prot. n. 18668 del 23/06/2015 ad oggetto "Valori CSC bonifiche suoli e acque sotterranee – PFAS" individua valori di CSC solo per PFOA.

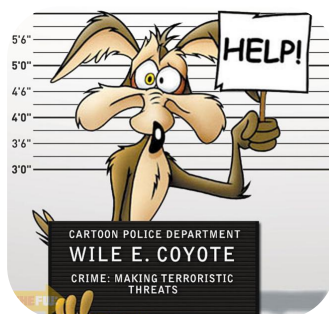
Sostanza	Matrice	CSC
PFOA	Acque sotterranee	500 ng/L
PFOA	Suoli ad uso verde	0.5 mg/Kg
PFOA	Suoli ad uso industriale	5 mg/Kg

ANALISI

- Quantificazione degli analiti tramite tecniche “Targeted”
- Analisi qualitative di classi di composti tramite tecniche “Untargeted”



ANALISI TARGETED



Quantificazione degli analiti tramite tecniche “Targeted”, ovvero basandosi su una lista di composti (normativa, lista interna)

ANALISI UNTARGETED

Example

	Identification confidence	Minimum data requirements
	Level 1: Confirmed structure by reference standard	MS, MS ² , RT, Reference Std.
	Level 2: Probable structure a) by library spectrum match b) by diagnostic evidence	MS, MS ² , Library MS ² MS, MS ² , Exp. data
	Level 3: Tentative candidate(s) structure, substituent, class	MS, MS ² ,
$C_6H_5N_2O_2$	Level 4: Unequivocal molecular formula	MS isotop
192.0757	Level 5: Exact mass of interest	MS



Analisi qualitativa di classi di sostanze (o singoli analiti) tramite tecniche “Untargeted”, ovvero basandosi su algoritmi di interpretazione, elucidazione strutturale o confronto con librerie spettrali

SPETTROMETRIA DI MASSA ORGANICA (MOLECULE ORGANICHE)

GC (gas cromatografia) e LC (cromatografia liquida) accoppiata a spettrometria di massa

- Analisi qualitativa di molecole organiche
- Analisi quantitativa di molecole organiche
- Chemical imaging
- ...

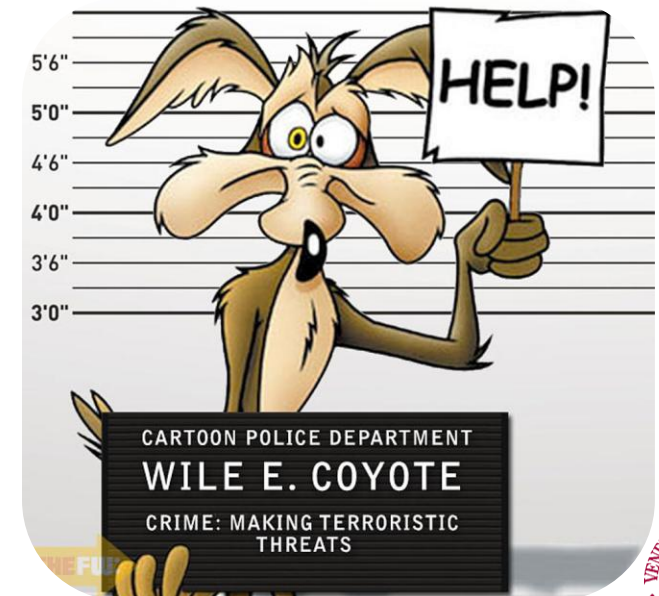


La spettrometria di massa è l'unica tecnica che permette di identificare la struttura chimica della sostanza

SPETTROMETRIA DI MASSA INORGANICA (METALLI)

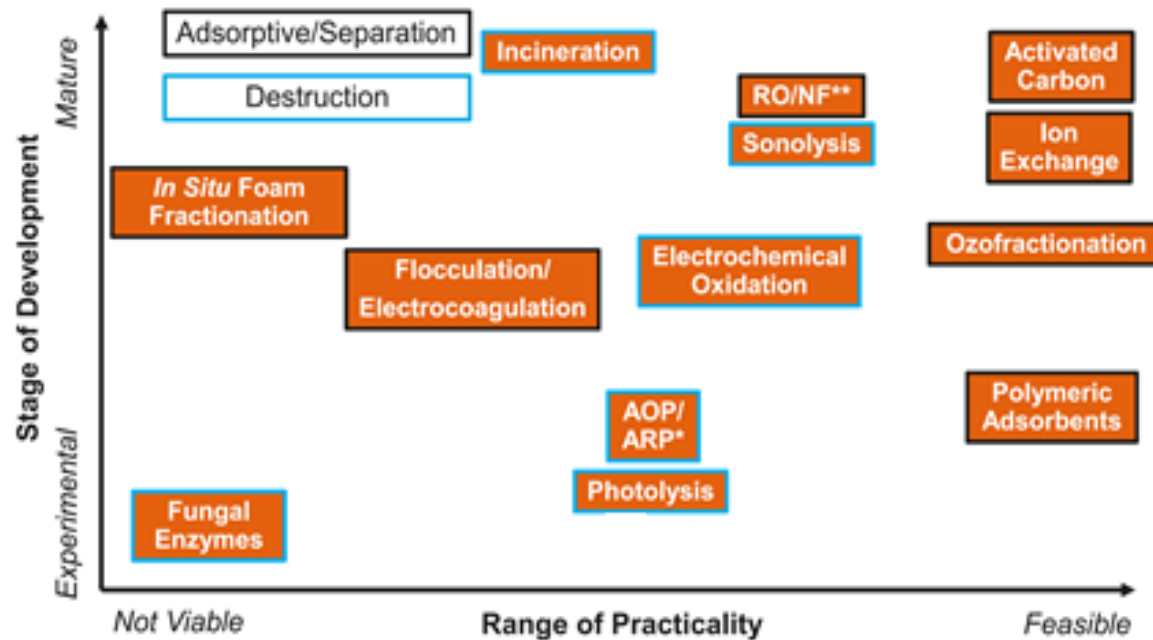
ICP-MS

- Analisi qualitativa di metalli
- Analisi quantitativa di metalli
- Tracciabilità
- Datazione
- ...

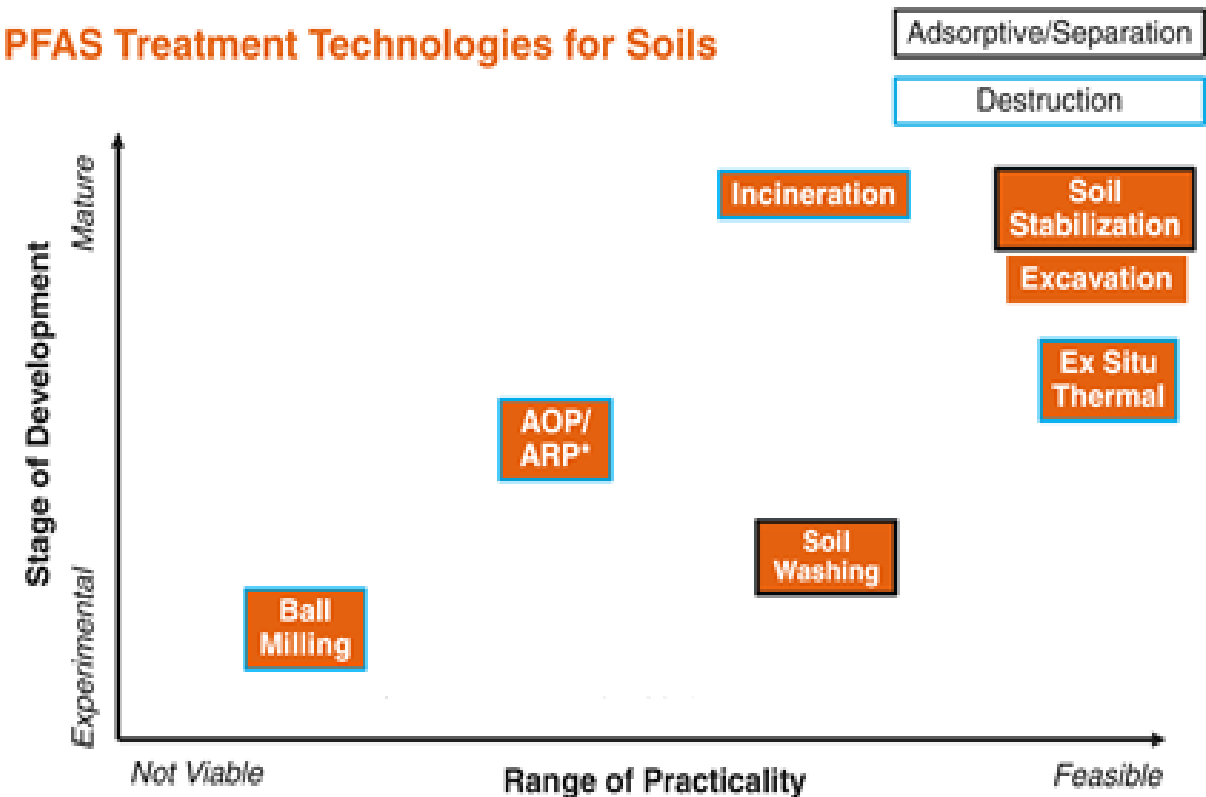


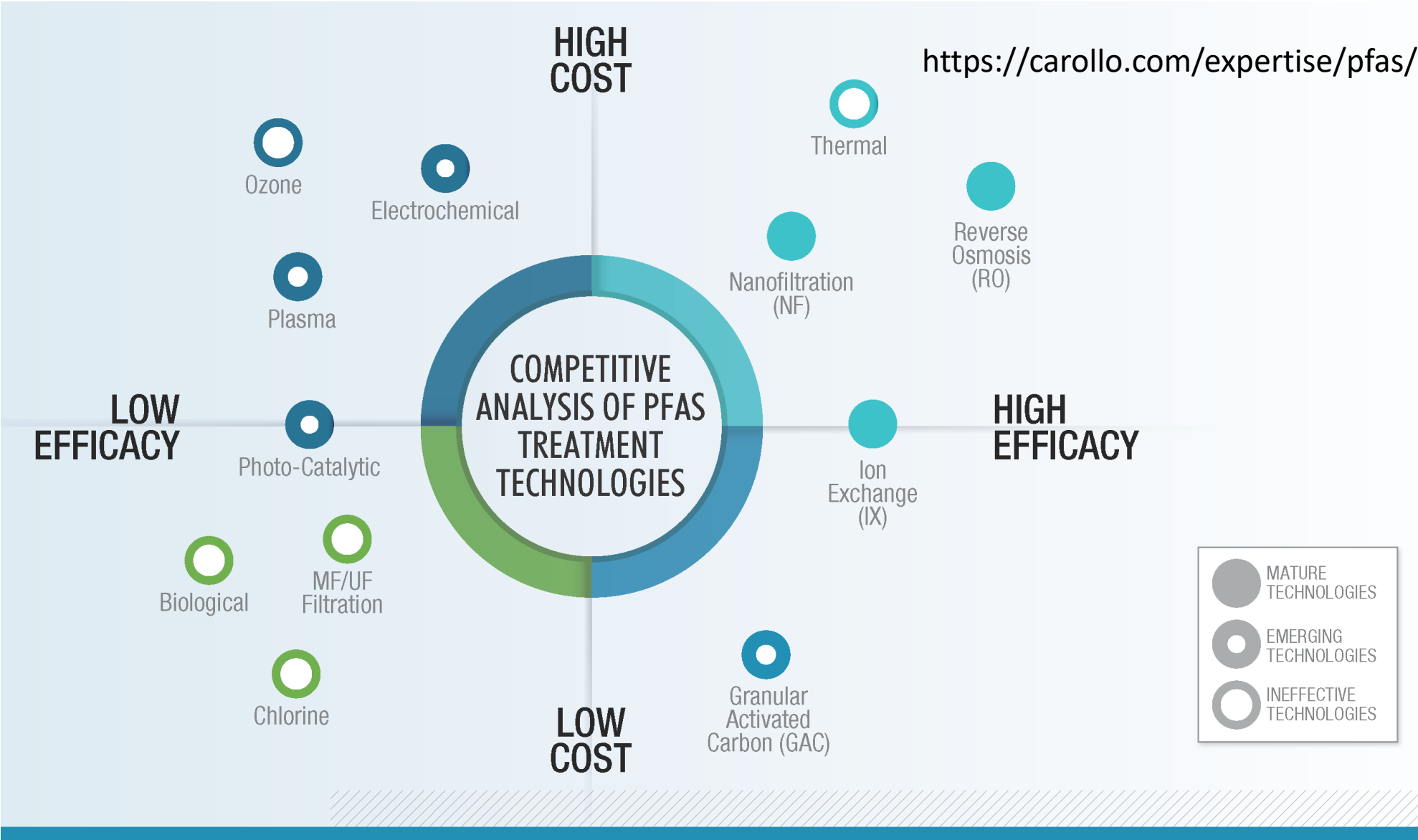
Overview di alcune tecnologie di rimozione e distruzione basate su processi chimico-fisici e biologici

PFAS Treatment Technologies for Water



PFAS Treatment Technologies for Soils





Le tecnologie basate sulla separazione/adsorbimento rimuovono i PFAS dalla matrice contaminata

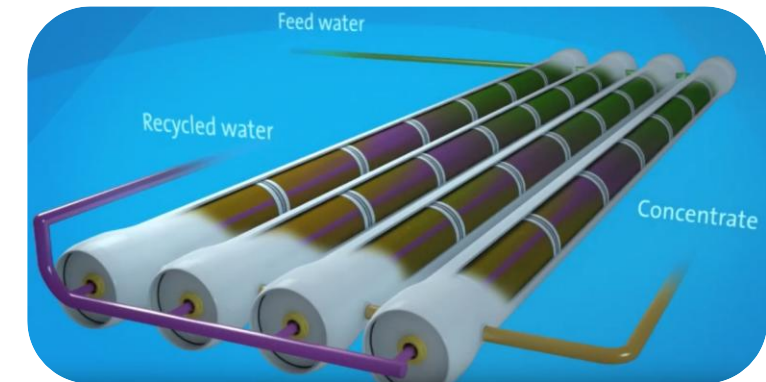
Le più rilevanti in termini di maturità della tecnologia, efficienza di rimozione e costi sono basate su

- ❑ Impiego di materiali adsorbenti (tra tutti i carboni attivi)

- ❑ Membrane filtranti

Problema: rimuovo i PFAS ma ce li ho ancora! A quel punto ho due scelte:

- distruzione termica → **non è garantito che i PFAS vengano distrutti completamente** e potrebbero ritrovarsi nei fumi in uscita dai camini
- Conferimento in discarica → **non ho risolto il problema**, l'ho solo spostato nel tempo e nello spazio





Piano d'azione per eliminare tutti gli usi non essenziali dei PFAS, con un **approccio di gruppo!** Indicativamente Luglio 2022, e diverrà effettivo circa nel 2025



BANDIRE l'uso di PFAS nell'UE, a meno che tale utilizzo non sia considerato essenziale per la società



IL CASO MITENI

Dalla produzione di PFAS a catena lunga alla produzione di PFAS a catena corta e, successivamente, alla produzione di PFAS di nuova generazione, come Gen-X e cC6O4.

Nel **2010** è stata avviata, a scala pilota, la produzione di cC6O4:

0,30 ton nel 2010

207 ton nel 2017

Nel **2014** iniziano le produzioni di Gen-X (HFPO-DA)

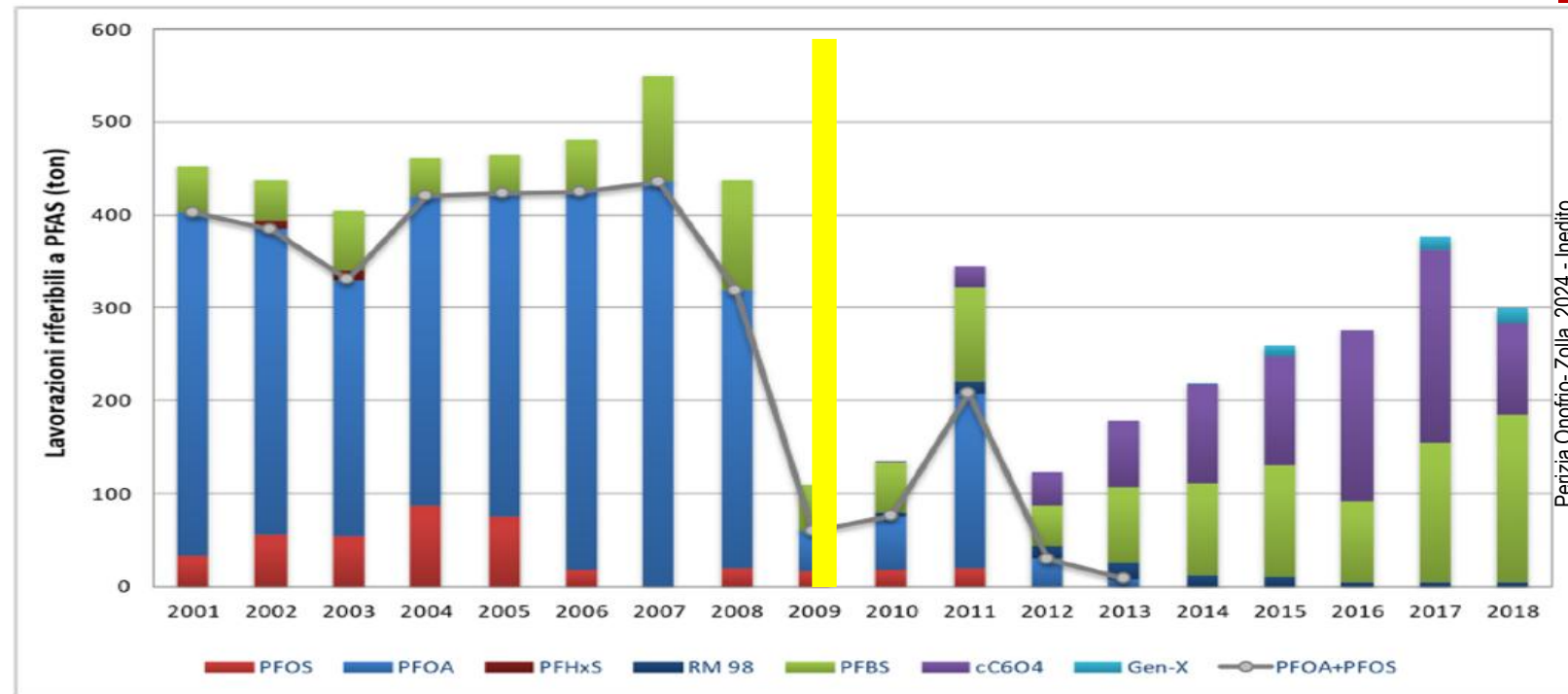
0.70 ton nel 2014

16,0 ton nel 2018

Si tratta di composti a catena corta (5 atomi) dotati di:

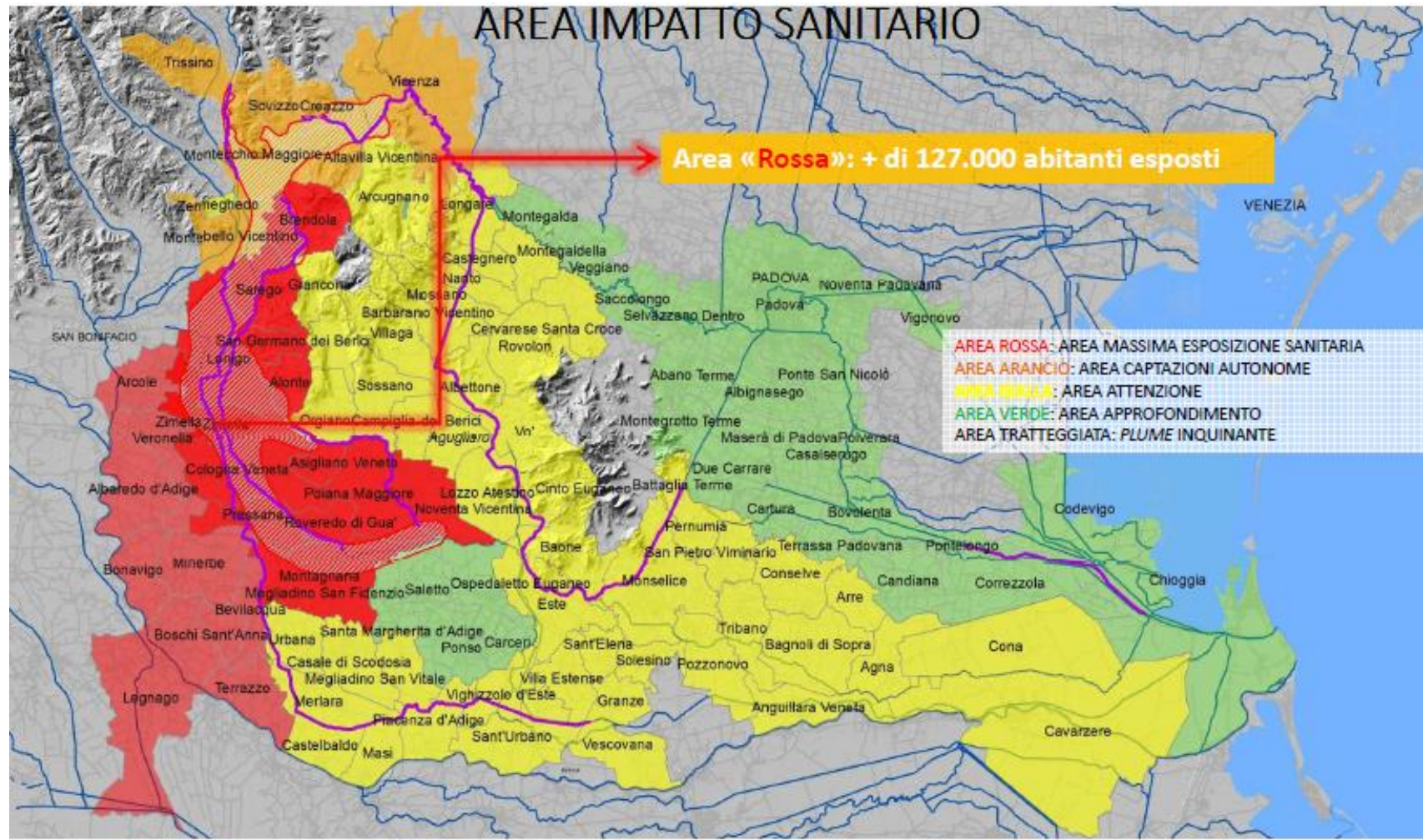
- maggiore affinità rispetto alla fase acquosa,
- elevata solubilità in acqua, non suscettibili a processi di decadimento o biodegradazione,
- alta persistenza nell'ambiente, e velocità di propagazione in falda prossime a quella effettiva delle acque sotterranee ($R = 1$)

QUESTI COMPOSTI DI ULTIMA GENERAZIONE DIVENGONO TRACCIANTI STRATEGICI DELL'INQUINAMENTO



Nel triennio l'entità generale dell'inquinamento rilevato varia, in termini di concentrazione, tra valori inferiori al limite di quantificazione, registrati in corrispondenza del "punto sentinella" n° 31 e il *valore massimo* di **48.047 ng/l** registrato dalla stazione n° 52 in comune di Sarego nel corso dell'ultima campagna estiva del 2017.





Campagna di monitoraggio IRSA 2020 (Veneto, Piemonte, e siti selezionati lungo il Corso del Po)



Perfluorinated compounds
HOlistic ENvironmental
Interinstitutional eXperience

Site	Sample type	Date	PFBA (ng/L)	PFBS (ng/L)	PFPeA (ng/L)	PFHxA (ng/L)	PFHpA (ng/L)	PFOA (ng/L)	PFNA (ng/L)	PFDA (ng/L)	PFHxS (ng/L)	PFOS (ng/L)	FOSA (ng/L)	4:2FTS (ng/L)	6:2FTS (ng/L)	cC604 (ng/L)
Trissino (VI)	groundwater at Miteni industrial site	20/02/20	2878	4126	<LOD	<LOD	612	12525	<LOD	<LOD	540	6785	<LOD	<LOD	<LOD	1 583
Creazzo (VI)	groundwater from resurgence	20/02/20	279	301	90	116	58	1173	<LOD	8	22	289	<LOD	<LOD	<LOD	299
Lonigo (VI)	groundwater from well	20/02/20	1484	798	961	903	298	3833	<LOD	<LOD	93	149	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD



Campagna ARPAV 2019-2020 per il monitoraggio di cC6O4 nelle acque sotterranee del Veneto: statistiche dei siti in cui è stato rilevato il cC6O4



Perfluorinated compounds
HOlistic ENvironmental
Interinstitutional eXperience

	Zevio (VR)	Sommacampagna (VR)	Castelgomberto (VI)	Montecchio Maggiore (VI)	Trissino (VI)	Sovizzo (VI)	Creazzo (VI)	Vicenza (VI)
N	122	53	7	150	63	10	41	80
N><LOD	25	2	1	53	32	10	28	2
MIN	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	72	<LOD	<LOD
MAX	295	7250	183	400	3265	320	345	153
MEAN	21.0	95.1	26.1	69.8	285.1	168.8	168.3	2.9
MEDIAN	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	127	155.5	208	<LOD
% Detection	20.5	3.8	14.3	35.3	50.8	100.0	68.3	2.5

Campagna ARPAV 2019-2020 per il monitoraggio di cC6O4 nelle acque superficiali del Veneto: statistiche dei siti in cui è stato rilevato il cC6O4



Perfluorinated compounds
HOlistic ENvironmental
Interinstitutional eXperience

	Cologna Veneta	Vicenza	Melara	Castel massa	Occhiob ello	Villanova Marchesana	Corbo la	Taglio di Po	Porto Tolle	Ariano Polesine	Canaro
River	Fratta	Retron e	Po	Po	Po	Po	Po	Po	Po	Po di Goro	Scolo Poazzo
N	115		6	51	1	32	27	28	18	7	11
N>LOD	2	1	2	19	1	20	6	8	8	2	1
MIN	<LOD		<LOD	<LOD		<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
MAX	407	60	290	261	40	226	1190	107	70	60	60
MEAN	2.9		60.0	32.0		56.4	54.7	22.2	22.2	15.7	5.5
MEDIAN	<LOD		<LOD	<LOD		52	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
% Detection	1.7		33.3	37.3		62.5	22.2	28.6	44.4	28.6	9.1



COSTI PER LA SALUTE

I costi complessivi annuali legati alla salute, per tre diversi livelli di esposizione, sono stati stimati essere 52-84 miliardi di euro nei paesi del SEE.



COSTI PER L'AMBIENTE

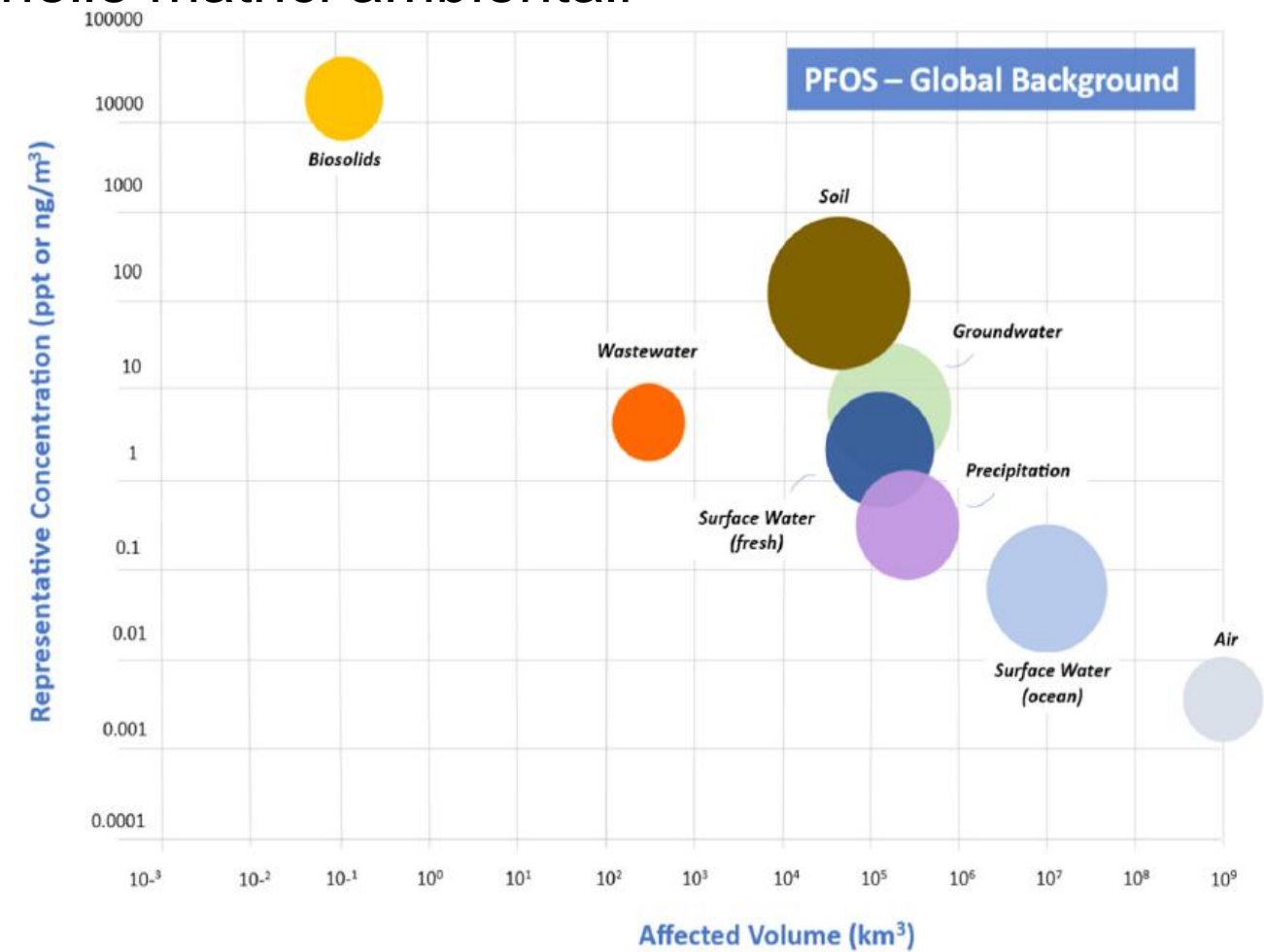
(BONIFICA/RIPRISTINO DI AREE CONTAMINATE)

Stime molto variabili, ma nel range di centinaia di milioni di euro.

PREVISIONI FUTURE

Una distribuzione planetaria dei composti nelle matrici ambientali

« ... The widespread detection of PFAS at background locations where no known direct releases have occurred can complicate the identification and management of sources » (2026)



PFOS Global Mass (kg)	
Soil	1.3 x 10 ⁷
Groundwater	1.1 x 10 ⁶
Surface Water (ocean)	7.5 x 10 ⁵
Surface Water (fresh)	2.7 x 10 ⁵
Precipitation (annual)	6.8 x 10 ⁴
Air	3.7 x 10 ³
Biosolids (annual)	2.8 x 10 ³
Wastewater (annual)	1.5 x 10 ³

Journal of Hazardous Materials 503 (2026) 141121



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Hazardous Materials

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jhazmat



Understanding the scale and potential contributions of background PFAS in the environment

David T. Adamson^{a,*,1}, Jeff Gamlin^b, Yukun Jin^b, Wynne Casteel^b, Charles Schaefer^c, Christopher P. Higgins^d

^a GSI Environmental Inc., Houston, TX, USA
^b GSI Environmental Inc., Lakewood, CO, USA
^c CDM Smith, Edison, NJ, USA
^d Colorado School of Mines, Golden, CO, USA

- PERSISTENTI, BIOACCUMULABILI, TOSSICI
- UBIQUITARI (PROBLEMA GLOBALE)
- NUOVI PFAS, NUOVI PROBLEMI
- NUOVO APPROCCIO NORMATIVO EUROPEO (SUPERAMENTO APPROCCIO «SOSTANZA PER SOSTANZA»)
- A SCALA LOCALE-REGIONALE, CI SI PUO' «LIBERARE» DAI PFAS



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

*Antonio Marcomini
Professor of Environmental Chemistry
Department of Environmental Sciences, Informatics & Statistics
Vice Rector
University Ca' Foscari of Venice
via Torino 155, 30172 Mestre (VE)*

