



# IL RUOLO DEGLI ALIMENTI DI ORIGINE ANIMALE E I RISCHI PER IL CONSUMATORE



VENEZIA - 1 GIUGNO 2024

*Flavia Girolami*

*Dip. di Scienze Veterinarie – Università di Torino*

# ESPOSIZIONE DELL'UOMO AI PFAS

## DIRETTA

Presenza dei PFAS nell'ambiente e contatto diretto attraverso diverse vie

## INDIRETTA

Assunzione dei precursori dei PFAS (es. FTOHs) → biotrasformazione nell'organismo

1. INGESTIONE ATTRAVERSO LA DIETA (ALIMENTI E ACQUA) → costituisce la via più significativa per la popolazione generale. L'acqua contribuisce fino al 75% dell'esposizione nelle zone vicine ai siti contaminati (*Vestergren and Cousin, 2009*)
2. INGESTIONE DI POLVERE DOMESTICA → importante via di esposizione soprattutto per i bambini (fino al 36% dell'esposizione totale)
3. INALAZIONE → costituisce la principale via di esposizione occupazionale. La concentrazione negli ambienti chiusi (domestici, lavorativi) è fino a 20 volte superiore rispetto a quelli aperti
4. ASSORBIMENTO DERMICO → deriva dal contatto con polvere domestica e prodotti contenenti PCP (es. cosmetici)



# ESPOSIZIONE ATTRAVERSO LA DIETA

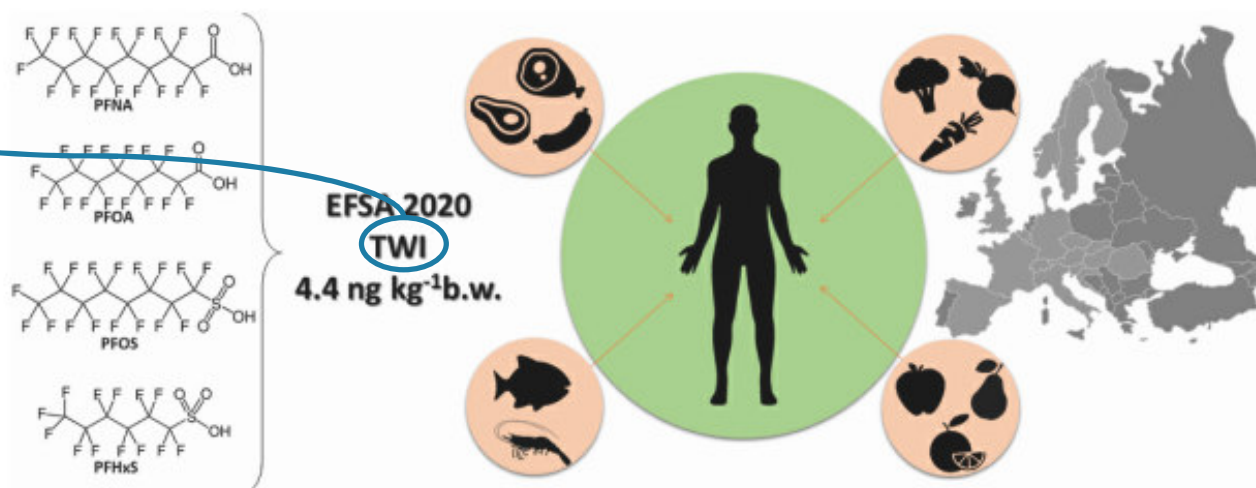
- **EFSA Opinion 2018** → rischio relativo alla presenza di **PFOS** e **PFOA** negli alimenti

**Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food**



2020

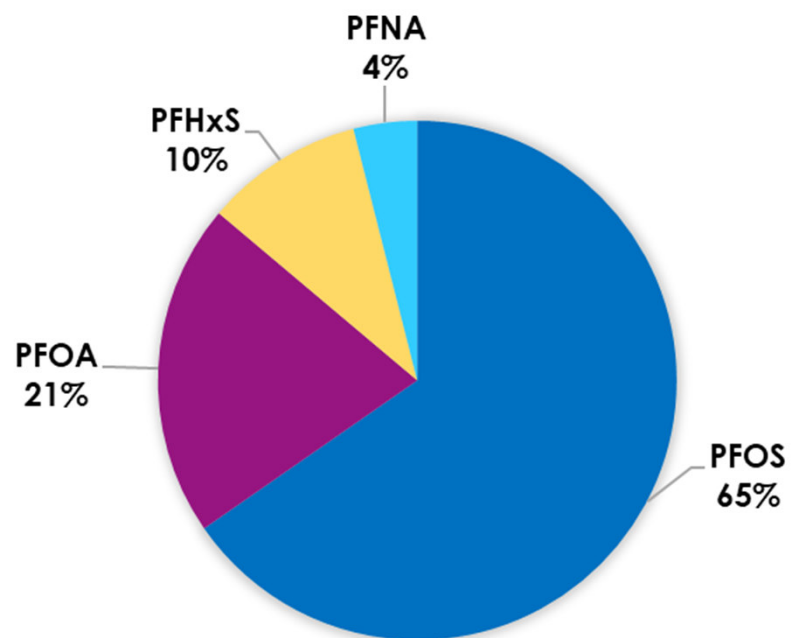
*Dose Settimanale  
Tollerabile*



Pasecnaja et al., 2022



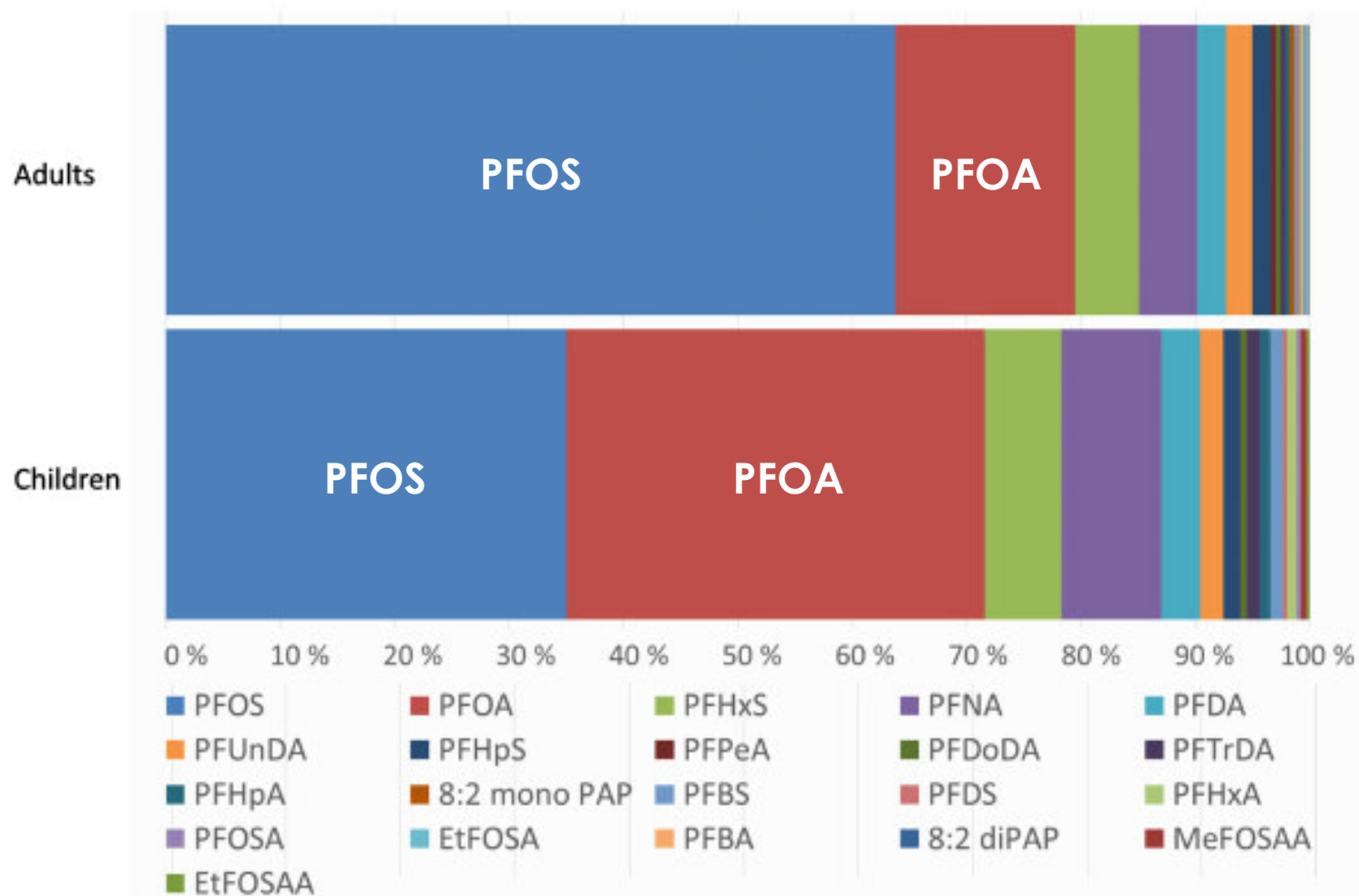
- Valutazione dell'esposizione per 17 PFAS → PFOS, PFOA, PFNA e PFHxS contribuiscono per il 46% della somma totale
- PFBA e PFHxA contribuiscono per il 16% e 15% ma hanno un tempo di emivita nell'uomo molto breve



*Contributo medio relativo dei 4 PFAS all'esposizione attraverso la dieta nell'adulto*



## Studi di biomonitoraggio in campioni di siero: contributo relativo di diversi PFAS basato sulla concentrazione media



EFSA, 2020



# PFAS NEGLI ALIMENTI

## Concentrazione media ( $\mu\text{g}/\text{Kg}$ ) dei 4 maggiori PFAS in diverse categorie di alimenti

CATEGORIA DI ALIMENTO	PFOS		PFOA		PFNA		PFHxS	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
ORTAGGI	0,003	0,15	0,006	0,16	0,001	0,12	0,000	0,10
FRUTTA	0,027	0,25	0,009	0,26	0,011	0,17	0,002	0,16
CARNE	0,028	0,17	0,028	0,17	0,000	0,14	0,000	0,09
CARNE DI POLLAME	0,009	0,13	0,002	0,15	0,000	0,14	0,000	0,11
CARNE DI SELVAGGINA CACCIATA	0,94	1,59	0,38	1,23	0,000	0,67	0,015	0,68
LATTE	0,001	0,14	0,000	0,15	0,000	0,11	0,000	0,10
UOVA E PRODOTTI DERIVATI	0,27	0,35	0,106	0,21	0,000	0,098	0,000	0,06
OLI E GRASSI (animali e vegetali)	0,004	0,11	0,002	0,11	0,000	0,12	0,000	0,102
ACQUA	0,0001	0,003	0,001	0,003	0,000	0,002	0,002	0,004
VISCERI EDIBILI (allevamento)	0,87	1,18	0,092	0,36	0,087	0,32	0,014	0,52
VISCERI EDIBILI (selvaggina)	214	215	5,48	8,18	9,77	9,87	0,010	2,52

modificata da EFSA, 2020

- **LB** → tutti i risultati < LOQ sono uguali a zero
- **UB** → tutti i risultati < LOQ sono uguali al LOQ



## Concentrazione media ( $\mu\text{g}/\text{Kg}$ ) dei 4 maggiori PFAS in diverse specie di pesce

SPECIE DI PESCE	PFOS		PFOA		PFNA		PFHxS	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
ARINGA	0,32	0,62	0,016	0,38	0,023	0,38	0,000	0,38
SARDINA	4,73	4,73	0,101	0,37	0,084	0,53	0,014	0,45
ACCIUGA	0,58	0,98	0,044	0,12	-	-	-	-
SALMONE E TROTA	0,31	0,83	0,13	0,63	0,003	0,70	0,000	0,63
SGOMBRO	0,36	0,93	0,31	0,88	0,004	0,74	0,001	0,74
TONNO	0,16	0,26	0,000	0,12	0,000	0,13	0,000	0,11
MERLUZZO	0,47	1,05	0,012	0,74	0,016	0,78	0,000	0,53
HALIBUT	0,26	0,81	0,003	0,30	0,000	0,77	0,002	0,69
CARPA	14,12	14,21	4,10	4,33	0,84	1,47	0,066	1,01
ANGUILLA	9,23	9,44	0,071	0,68	0,98	1,66	0,017	0,73
VISCERI DI PESCE	3,38	4,99	0,010	3,51	0,011	2,41	0,031	1,65

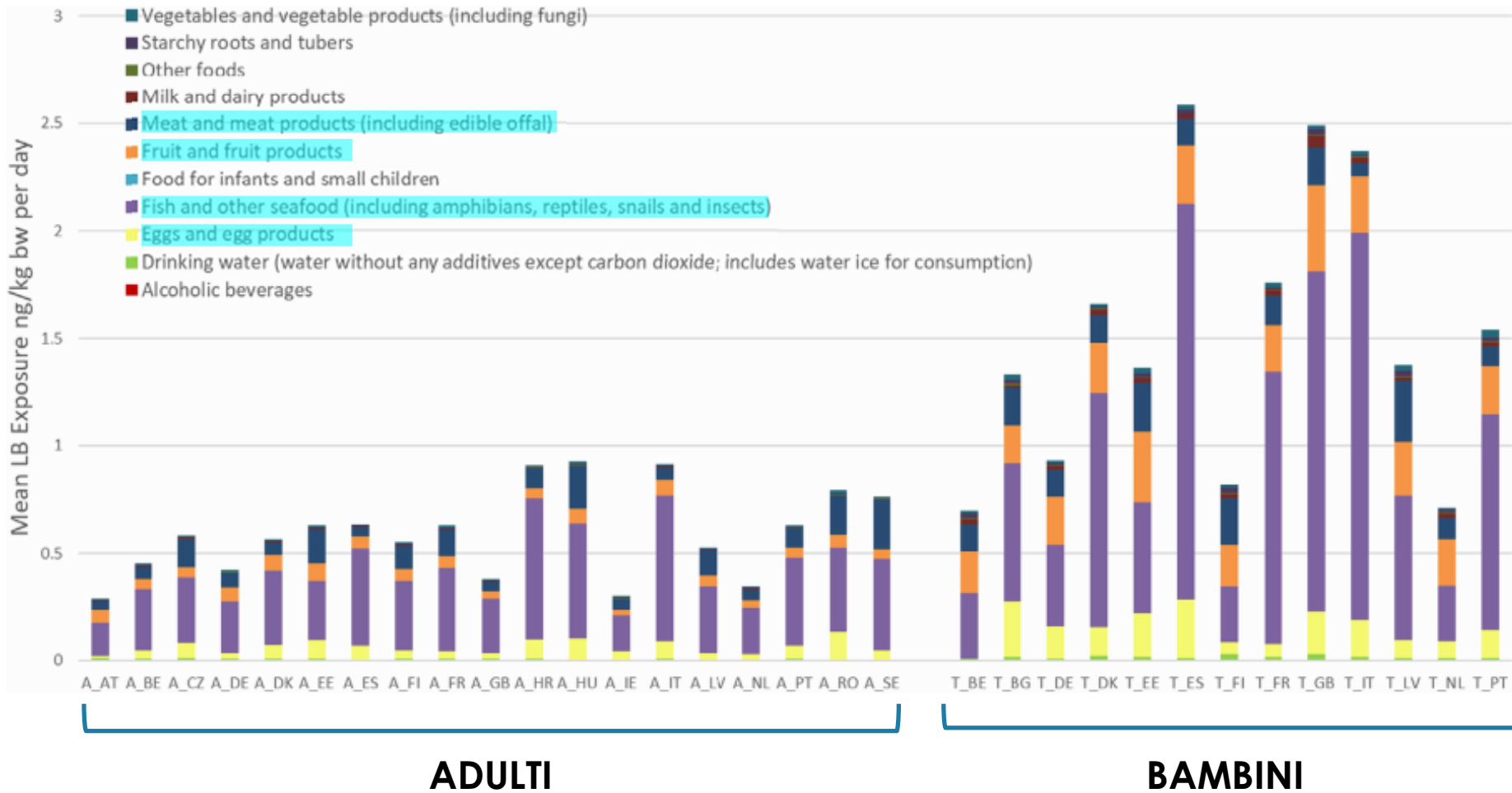
modificata da EFSA, 2020



## Contributo di ciascun alimento all'esposizione

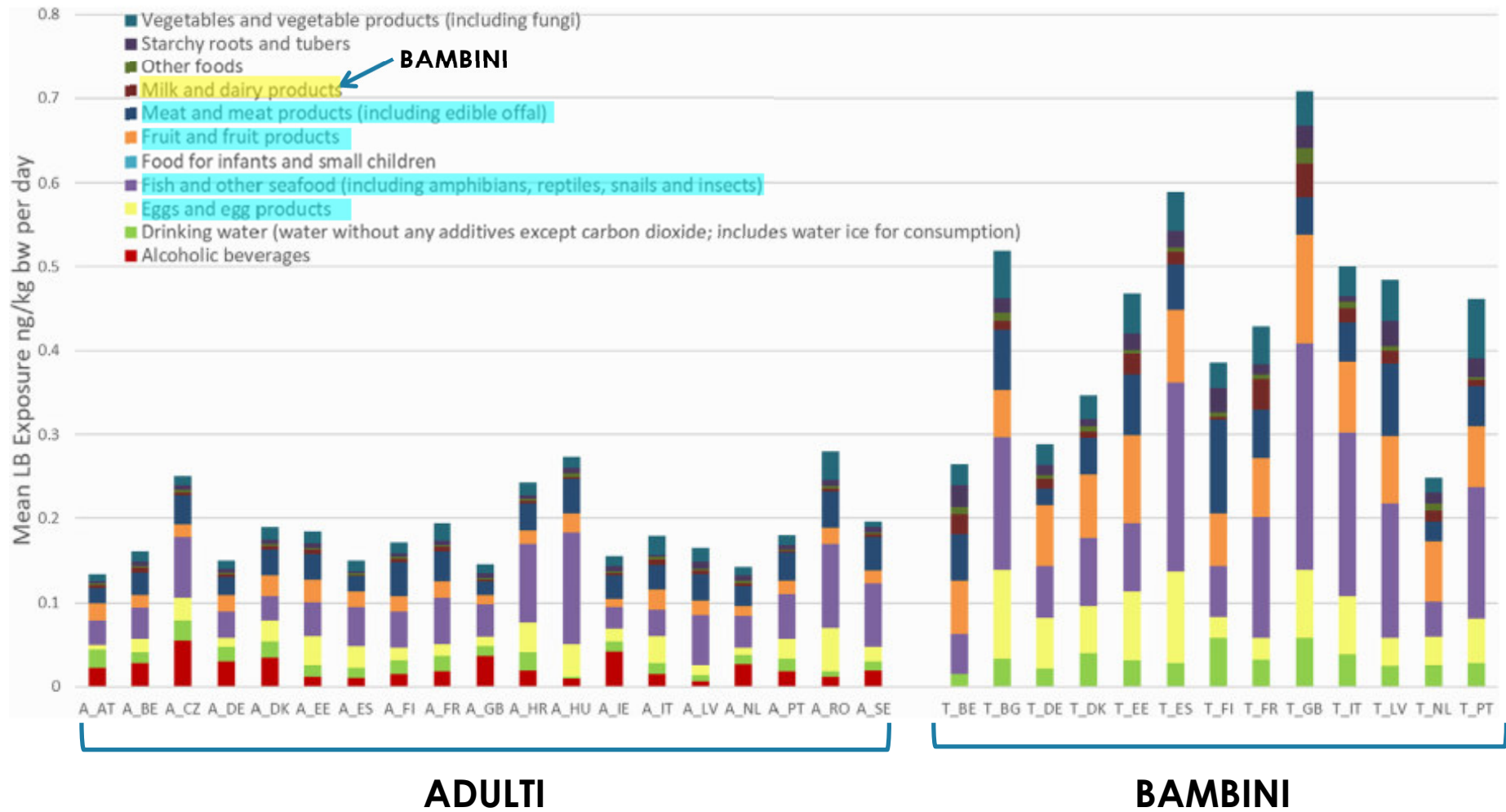
- Il contributo dipende non soltanto dalla contaminazione dell'alimento ma anche dalla quantità consumata → *es. il fegato della selvaggina cacciata contribuisce in minima parte all'esposizione anche se è l'alimento più contaminato*
- 2 tipi di approccio:
  - ✓ **LB** → tutti i risultati < LOQ sono uguali a zero
  - ✓ **UB** → tutti i risultati < LOQ sono uguali al LOQ
- Nel caso dei PFAS, EFSA considera più realistico l'approccio LB
- L'approccio UB sovrastima eccessivamente l'esposizione cronica → scarsità di dati e numero molto elevato di risultati inferiori a LOD/LOQ
- **Necessità di implementare le tecniche analitiche per l'analisi dei PFAS in tutte le matrici alimentari**

# PFOS



EFSA, 2020

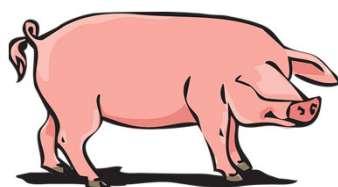
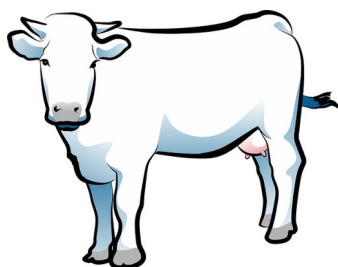
# PFOA



EFSA, 2020

# CINETICA DEI PFAS E RESIDUI

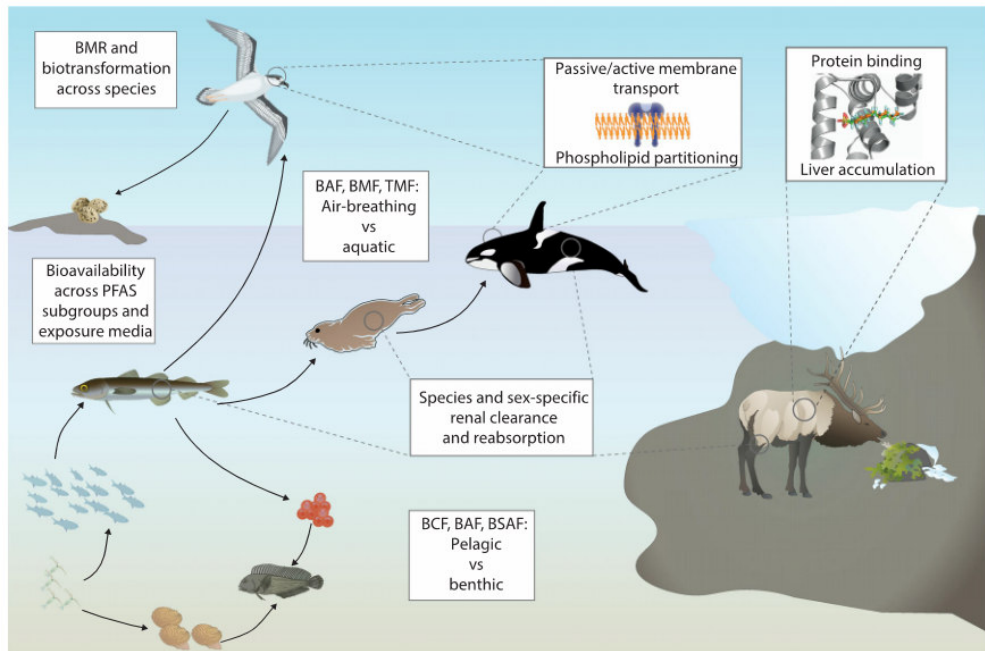
- Assorbimento quasi totale (>90%) e assenza di metabolismo biotrasformativo
- Distribuzione ed accumulo prevalente in **SIERO**, **FEGATO** e **RENE** → elevata affinità per le proteine (spt albumine)
- Eliminazione per via renale (catena corta) e biliare (catena lunga) MA importante **circolo entero-epatico** e **riassorbimento tubulare** attraverso trasportatori transmembrana (OAT)
- Escrezione mammaria (legame con le  $\beta$ -lattoglobuline) e nelle uova
- Tempo di emivita più lungo per PFAS con  $C \geq 8$  e solfonati, numerose differenze interspecifiche e intraspecifiche (sesso)



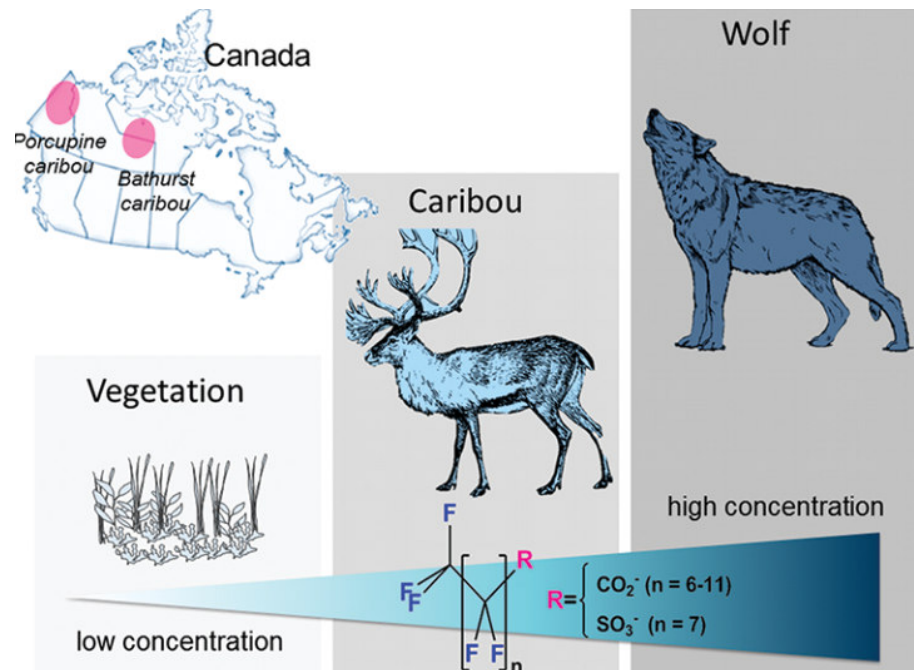
Death et al., 2021

	PFOS		PFOA	
	Female	Male	Female	Male
Rabbit	88 days <sup>a</sup>		7 h <sup>b</sup>	5.5 h <sup>b</sup>
Rat	14–83 days <sup>c,d</sup>	7.5–82 days <sup>e,d</sup>	2–16 h <sup>f</sup>	1.3–21 days <sup>g,d</sup>
Mallard duck		13.6 days <sup>h</sup>		
Quail		20.7 days <sup>h</sup>		
Chicken	3.5–160 days <sup>i,j</sup>			4.6 days <sup>k</sup>
Mouse	31–38 days <sup>k</sup>	36–43 days <sup>l</sup>	16 days <sup>m</sup>	22 days <sup>m</sup>
Dog			8–13 days <sup>n</sup>	20–30 days <sup>n</sup>
Cattle	39–106 days <sup>o</sup>	120 days <sup>p</sup>	1.3 days <sup>o</sup>	19.2 h <sup>q</sup>
Sheep	No data	No data	No data	No data
Monkey	110–200 days <sup>k,r</sup>	132–200 days <sup>l,r</sup>	33 days <sup>s</sup>	21 days <sup>s</sup>
Pig		1.7 years <sup>t</sup>	236 days <sup>t</sup>	

- Fenomeni di **bioaccumulo** (> concentrazione rispetto all'ambiente) e **biomagnificazione** (> concentrazione lungo la catena trofica)
- **Biomagnificazione** più significativa per gli animali terrestri → mancata eliminazione dei PFAS attraverso le vie respiratorie vs efficiente eliminazione attraverso le branchie



De Silva et al., 2020



Muller et al., 2011



## Fonti di esposizione negli animali

1. ARIA E ACQUA DI ABBEVERATA → concentrazioni significative di PFAS nelle aree periurbane o vicine a zone di contaminazione industriale
2. MANGIME → costituisce la via prevalente per la maggior parte degli animali zootecnici (spt in allevamento intensivo). Il contributo maggiore deriva dalle **farine di pesce**
3. SUOLO E FORAGGIO → interessa soprattutto gli animali allevati prevalentemente al pascolo/all'aperto, per ingestione diretta del suolo e delle piante contaminate. Ruolo importante svolto dall'utilizzo dei fanghi di depurazione come fertilizzanti.
  - **galline** → ingestione di vermi e terriccio
  - **cinghiale** → “grufolare” e accesso ai rifiuti solidi urbani
3. LETTIERA → può essere una fonte in caso di utilizzo di *cartone riciclato, trucioli di legno e segatura, polpa di carta essiccata*. Ma anche la **paglia** → maggiore accumulo di PFAS rispetto alle cariossidi sia nel mais sia nel grano



## The transfer of environmental contaminants (Brominated and Chlorinated dioxins and biphenyls, PBDEs, HBCDDs, PCNs and **PFAS**) from recycled materials used for bedding to the eggs and tissues of chickens

Alwyn R. Fernandes <sup>a,\*</sup>, Iain R. Lake <sup>a</sup>, Alan Dowding <sup>b</sup>, Martin Rose <sup>c</sup>, Natalia R. Jones <sup>a</sup>, Frankie Smith <sup>c</sup>, Sean Panton <sup>c</sup>

2023





# PFAS NEI PESCI



The screenshot shows a PubMed search interface. At the top left is the PubMed logo. A search bar contains the text "pfas and fish" with a search button labeled "Search". Below the search bar are links for "Advanced", "Create alert", "Create RSS", and "User Guide". Below the search bar are buttons for "Save", "Email", and "Send to". To the right of these buttons is a "Sort by:" dropdown menu set to "Most recent" and a "Display options" button with a gear icon. Below the search bar, on the left, are "MY NCBI FILTERS" and "RESULTS BY YEAR" sections. The "113 results" text is circled in red. Below the search bar, on the right, is a pagination bar showing "Page 1 of 12". A green banner at the bottom of the search results area contains a checkmark icon and the text "Filters applied: in the last 1 year. [Clear all](#)".

Ricerca effettuata il 31.05.2024



## PFAS nei prodotti della pesca

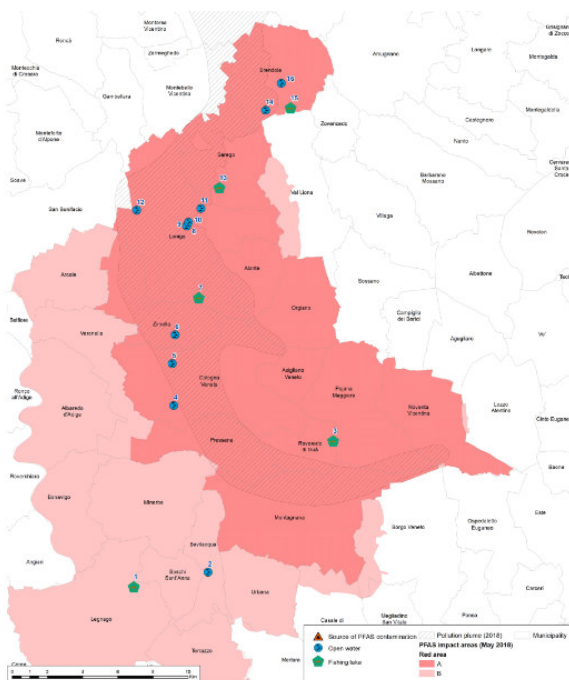
- **PFOS** → elemento più rappresentato e concentrato
- I PFAS si accumulano maggiormente:
  - ✓ nei pesci d'acqua dolce
  - ✓ nei pesci carnivori e predatori (biomagnificazione)
  - ✓ nei pesci di cattura rispetto a quelli di allevamento
  - ✓ in crostacei e molluschi (*bivalvi, seppie e calamari*)
- Il fegato contiene maggiori concentrazioni di PFAS rispetto al muscolo
- Acque e pesci vicino a siti industriali e aree urbanizzate sono più contaminati (PFAS aumentano lungo il decorso del fiume dalla sorgente alla foce)
- L'influenza della cottura sulla contaminazione del pesce dipende dal tipo di cottura → perdita di acqua e assorbimento di olio → **frittura** e **grill** aumentano le concentrazioni di PFAS



## Investigation of levels of perfluoroalkyl substances in freshwater fishes collected in a contaminated area of Veneto Region, Italy

Federica Gallochio<sup>1</sup> · Marzia Mancin<sup>1</sup> · Simone Belluco<sup>1</sup> · Alessandra Moressa<sup>1</sup> · Roberto Angeletti<sup>1</sup> ·  
Monica Lorenzetto<sup>1</sup> · Giuseppe Arcangeli<sup>1</sup> · Nicola Ferrè<sup>1</sup> · Antonia Ricci<sup>1</sup> · Francesca Russo<sup>2</sup>

2022



Statistics	PFOA	PFDA	PFOS	PFUnA	PFDnA
Average (µg/kg)	0.33 IC <sub>95</sub> [0.27; 0.40]	2.87 IC <sub>95</sub> [2.13; 3.88]	19.45 IC <sub>95</sub> [14.19; 26.68]	0.69 IC <sub>95</sub> [0.61; 0.84]	1.51 IC <sub>95</sub> [1.23; 1.85]
Median (µg/kg)	0.22 IC <sub>95</sub> [0.18; 0.26]	1.41 IC <sub>95</sub> [1.13; 1.79]	9.23 IC <sub>95</sub> [7.26; 11.73]	0.55 IC <sub>95</sub> [0.47; 0.63]	1.02 IC <sub>95</sub> [0.85; 1.21]

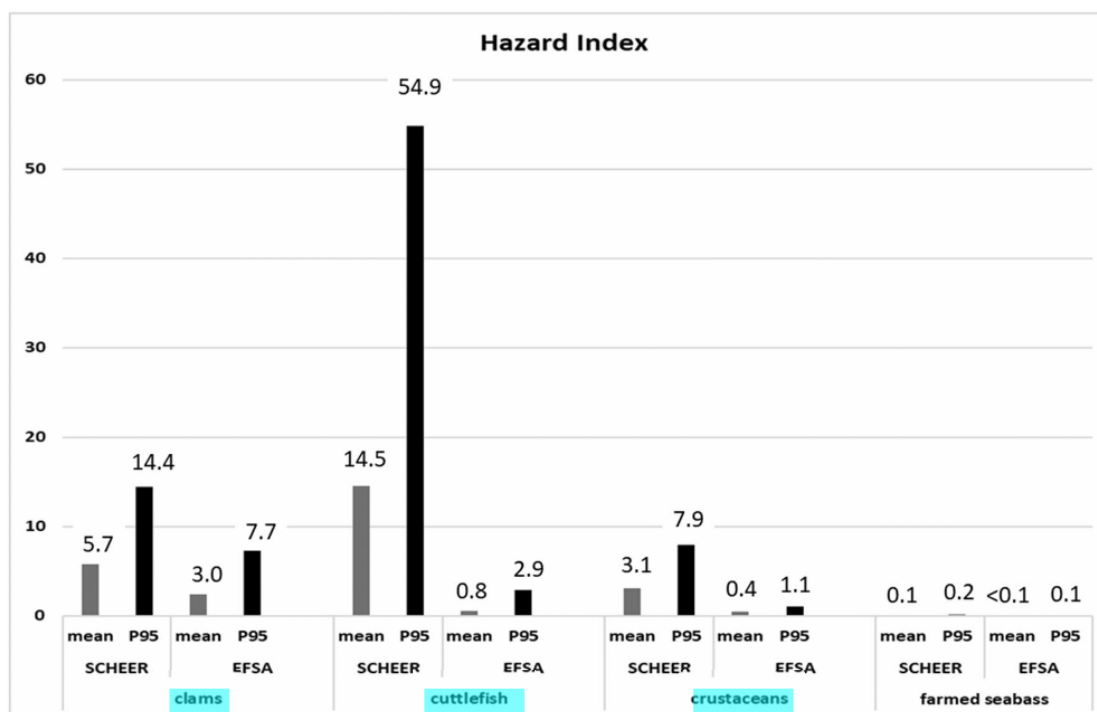
Groups	Hypothetic bw (Kg)	Exposure due to fish consumption											
		2/week		1/week		2/month		1/month		2/year		1/year	
		ng/Kg/ week	HR	ng/Kg/ week	HR	ng/Kg/ week	HR	ng/Kg/ week	HR	ng/Kg/ week	HR	ng/Kg/ week	HR
Toddlers	10	95.2	21.6	47.6	10.8	23.8	5.4	11.9	2.7	1.9	0.4	1.0	0.2
Children	30	44.4	10.1	22.2	5.0	11.1	2.5	5.6	1.3	0.9	0.2	0.4	0.1
Adolescent	50	38.1	8.7	19.0	4.3	9.5	2.2	4.8	1.1	0.8	0.2	0.4	0.1
Adults	70	40.8	9.3	20.4	4.6	10.2	2.3	5.1	1.2	0.8	0.2	0.4	0.1



## Safe and sustainable fish and seafood system and per- and poly-fluorinated substances occurrence: the role of PFAS toxicity in the assessment

Gianfranco Brambilla<sup>1</sup>

2024

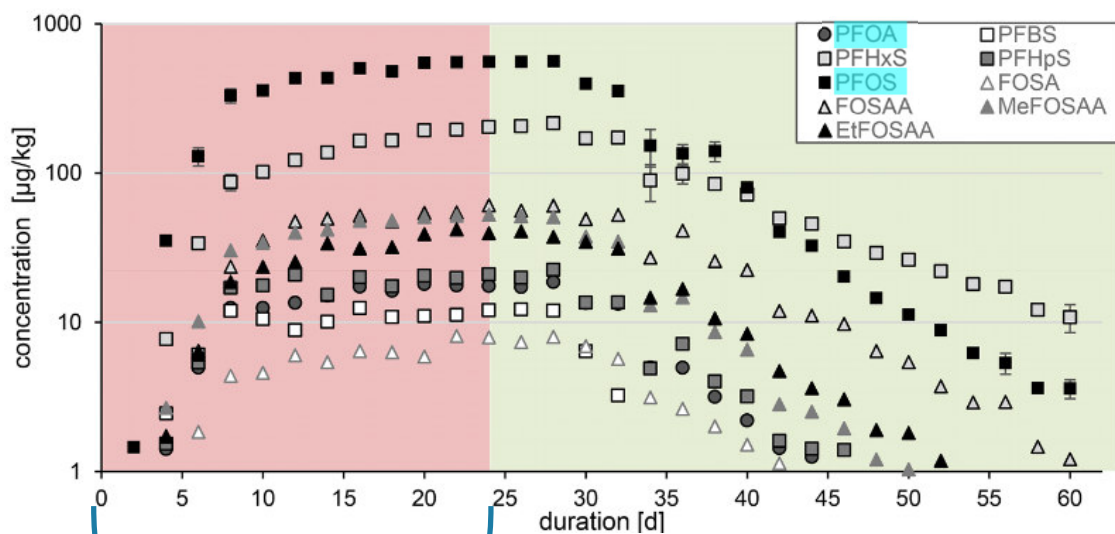


**Fig. 1** Hazard index for PFAS intake according to SCHEER and EFSA PFAS RPF grids from each of the fish and seafood categories in the considered scenario referred to 10–74-year-old people, in Italy

# PFAS NELLE UOVA



- **PFOS** → elemento più rappresentato e concentrato
- I PFAS si accumulano maggiormente nel **tuorlo** → maggiore affinità per le lipoproteine ad alta densità rispetto alla albumine
- Decontaminazione lunga → tempi di emivita stimati intorno ai 4-5 giorni per PFOS e PFOA



**DIETA CONTAMINATA**

**TABLE 3:** Per- and polyfluoroalkyl (PFAS) substance egg residue half-lives in hens exposed to oral intake of PFAS

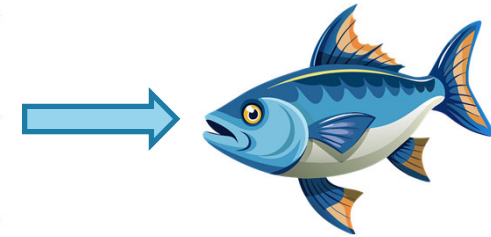
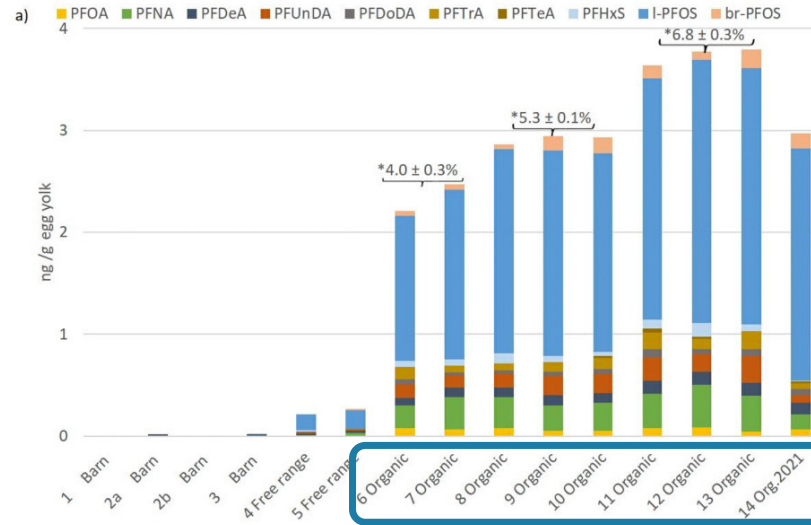
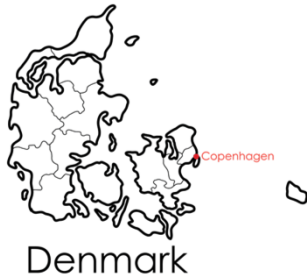
Analyte	Half-life, T5 (days)	Half-life, T4 (days)	Half-life, T3 (days)	Average half-life (days)
PFOS	3.4	3.3	3.8	3.5
PFHxS	5.4	6.3	9.4	7
PFOA	3.7	4.7	7.9	5.4
PFHxA	2	nc	nc	nc

*Wilson et al., 2020*

*Gockener et al., 2020*



- Il tipo di allevamento influenza la concentrazione dei PFAS nelle uova: **biologico** > all'aperto > batteria



Granby et al., 2024



Production type	children		adults	
	lower-bound	upper-bound	lower-bound	upper-bound
Organic	0.65	1.10	0.21	0.36
Free range	0.26	0.71	0.09	0.24
Battery cage	0.00	0.52	0.00	0.17

**3 uova/settimana**

Mikolajczyk et al., 2020



- La contaminazione da PFAS è maggiore nelle uova di produzione **casalinga**

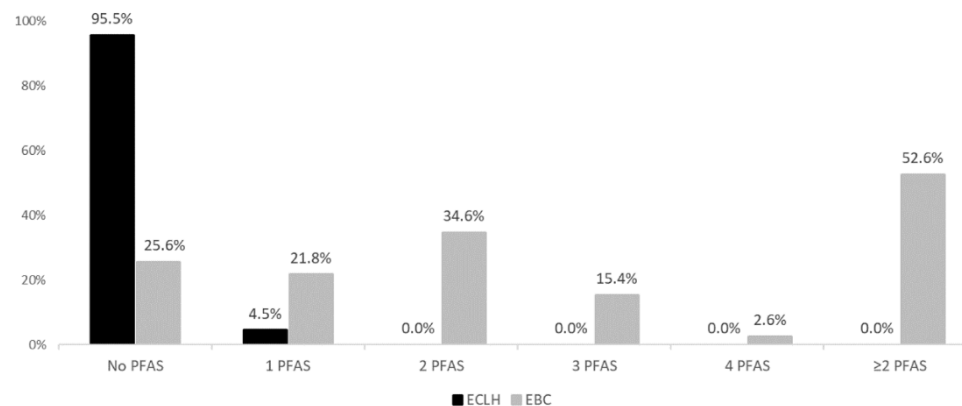
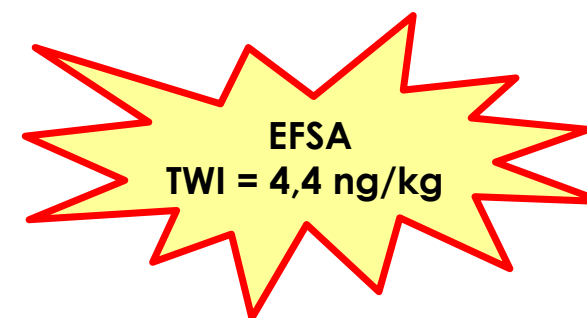


Fig. 1. Fraction (%) of eggs from ECLH and EBC reared in Italy contaminated with one or more PFASs.

Gazzotti et al., 2021

**2 uova/settimana  
da ZONE CONTAMINATE  
(BELGIO)**

BUFFER A (0–2 km, N = 18)	Intake parameters (ng/kg bw per week)			
	Min.	Median	Mean	Max.
Age interval (years)				
3–5	2.3	75	208	726
6–9	1.7	56	154	538
10–13	1.1	36	100	348
14–17 Male	0.68	23	63	220
Female	0.77	26	71	247
18–64 Male	0.53	18	49	172
Female	0.64	22	59	207



Lasters et al., 2022

Article

## Incidence of Perfluoroalkyl Substances in Commercial Eggs and Their Impact on Consumer's Safety

Maria Nobile <sup>1</sup>, Francesco Arioli <sup>1</sup>, Dalia Curci <sup>1,\*</sup>, Claudia Ancillotti <sup>2</sup>, Giulia Scanavini <sup>2</sup>,  
Luca Maria Chiesa <sup>1</sup> and Sara Panseri <sup>1</sup>

2023



- Presenza maggiore di PFAS in uova da VENETO ed EMILIA ROMAGNA
- In base ai dati analitici:
  - ✓ Le concentrazioni maggiori sono al di sotto dei LM dell'UE
  - ✓ L'assunzione dei PFAS attraverso le uova non rappresenta al momento un rischio per il consumatore



# PFAS NELLA CARNE

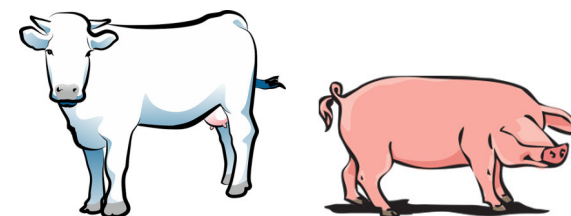


- La maggior parte degli studi ha valutato soltanto **PFOS** e PFOA
- PFOS** → elemento più rappresentato e concentrato
- Concentrazioni almeno 10 volte inferiori rispetto a pesci e uova**, ad eccezione dei visceri e della selvaggina cacciata

## PFOS

Product	Mean (ng/g)	SD (ng/g)	Median (ng/g)	Frequency values >LOD (%)
Meat	1.43	3.02	<LOD	25
Beef	2.11	4.23	<LOD	25
Pork	0.74	1.48	<LOD	25

Guerranti et al., 2013



## CINGHIALE

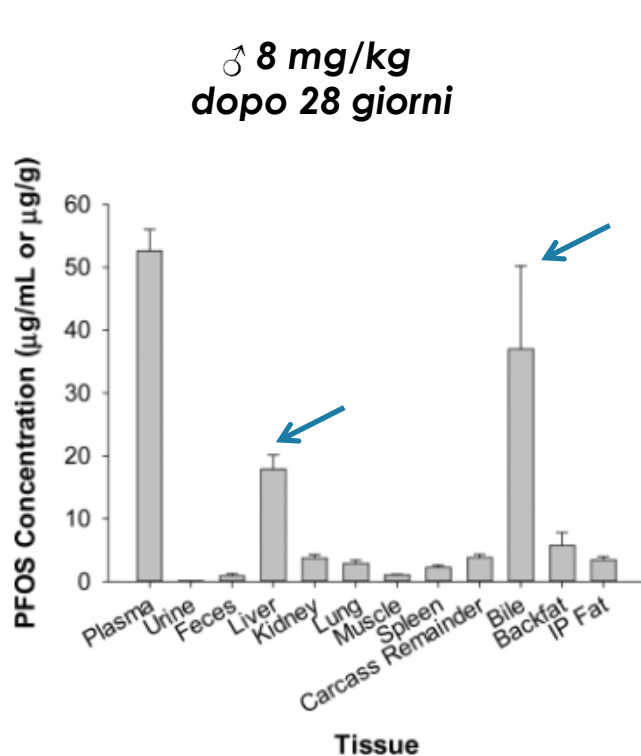
Parameter	Matrix	No. of samples	Median (µg/kg)	Arithmetic mean (µg/kg)	Range (µg/kg)
PFOA	Liver	529	<LOQ	4.02	<LOQ–45
PFOS	Liver	529	49	117	<LOQ–1780
PFOA	Muscle tissue	506	<LOQ	<LOQ	<LOQ–7.4
PFOS	Muscle tissue	506	<LOQ	1.38	<LOQ–28.6

Stahl et al., 2011

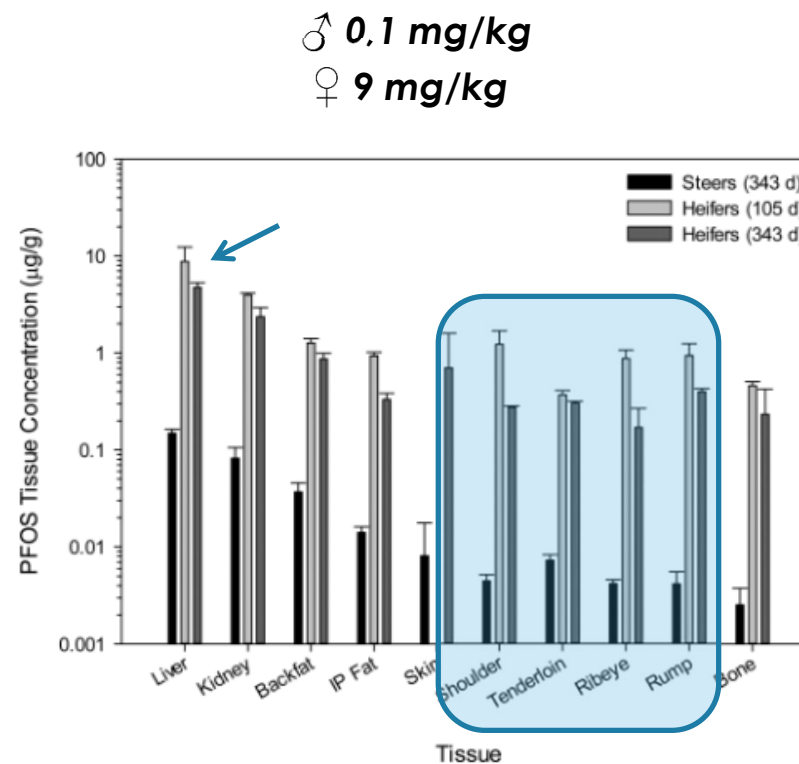




- Studi di cinetica residuale nei bovini da carne eseguiti soltanto con somministrazione in bolo di diverse concentrazioni di PFOS



Lupton et al., 2014

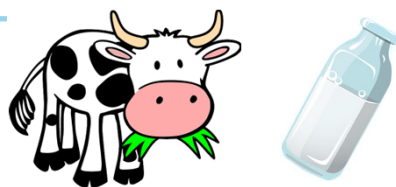


Lupton et al., 2015

- Tempi di emivita piuttosto lunghi: 385 giorni per il rene, 165 per il muscolo e 116 per il fegato
- Nessuna differenza nella distribuzione in diversi tagli di carne



# PFAS NEL LATTE



- Escrezione per via mammaria più significativa per i PFAS a catena lunga
- **Concentrazioni circa 10 volte inferiori rispetto alla carne** → è un alimento a basso rischio
- Non ci sono differenze tra i diversi tipi di latte (scremato, intero...)

Type of milk	No. of samples	PFOA			PFOS		
		Samples < LOD <sup>1</sup>	Samples < LOQ <sup>1</sup>	Range (ng/L)	Samples < LOD	Samples < LOQ	Range (ng/L)
Full cream	6	2	1	0–27	0	1	0–31
Skim	6	2	4	ND <sup>2</sup>	0	2	0–26
High quality <sup>3</sup>	37	30	7	ND	32	3	0–97
Organic	12	5	5	0–32	6	3	0–32
Raw	6	1	5	ND	0	2	0–67

Barbarossa et al., 2014

	Perfluoroalkyl substance concentration				
	Mean	Children		Adults	
		95 <sup>th</sup> Percentile	Mean	95 <sup>th</sup> Percentile	Mean
	Intake ng/kg b.w				
Cow	0.153/0.652	0.199/0.848	0.050/0.215	0.066/0.280	
Goat	0.259/1.106	0.529/2.258	0.086/0.365	0.175/0.745	
Sheep	0.266/1.136	0.486/2.076	0.088/0.375	0.160/0.685	

Mikołajczyk et al., 2023



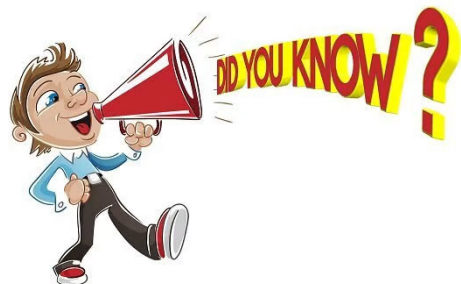
## “GAP” DA COLMARE

- Dati ancora insufficienti relativi ai livelli di PFAS negli animali zootecnici e nella selvaggina → modelli predittivi di assorbimento/eliminazione e trasferimento nei tessuti edibili
- Pochi studi di TK negli animali → definizione di distribuzione e clearance utili per predire le concentrazioni tissutali attraverso prelievi non invasivi (sangue) → **gestione degli animali esposti**
- Pochissimi dati relativi ai livelli di contaminazione di mangimi, foraggi e additivi zootecnici → **prevenzione negli animali in produzione zootecnica**
- Mancanza di studi di TD negli animali → effetti dell'esposizione ai PFAS sulla salute e le produzioni
- Pochissimi studi sui prodotti di trasformazione (es. formaggi) o sull'effetto della cottura degli alimenti

# TAKE HOME MESSAGES

- La dieta è la più importante fonte di esposizione ai PFAS nell'uomo
- Gli alimenti di origine animale contribuiscono per il 60% all'esposizione totale ai PFAS nell'uomo
- Contribuito decrescente per **pesci**, **uova** e **carne** (*tranne fegato e rene*)
- Il **latte** è considerato un alimento a basso rischio
- L'esposizione attraverso pesce (e uova) può superare facilmente la TWI stabilita dall'EFSA (4,4 ng/kg) in dipendenza dei livelli di contaminazione ambientale in cui vivono gli animali



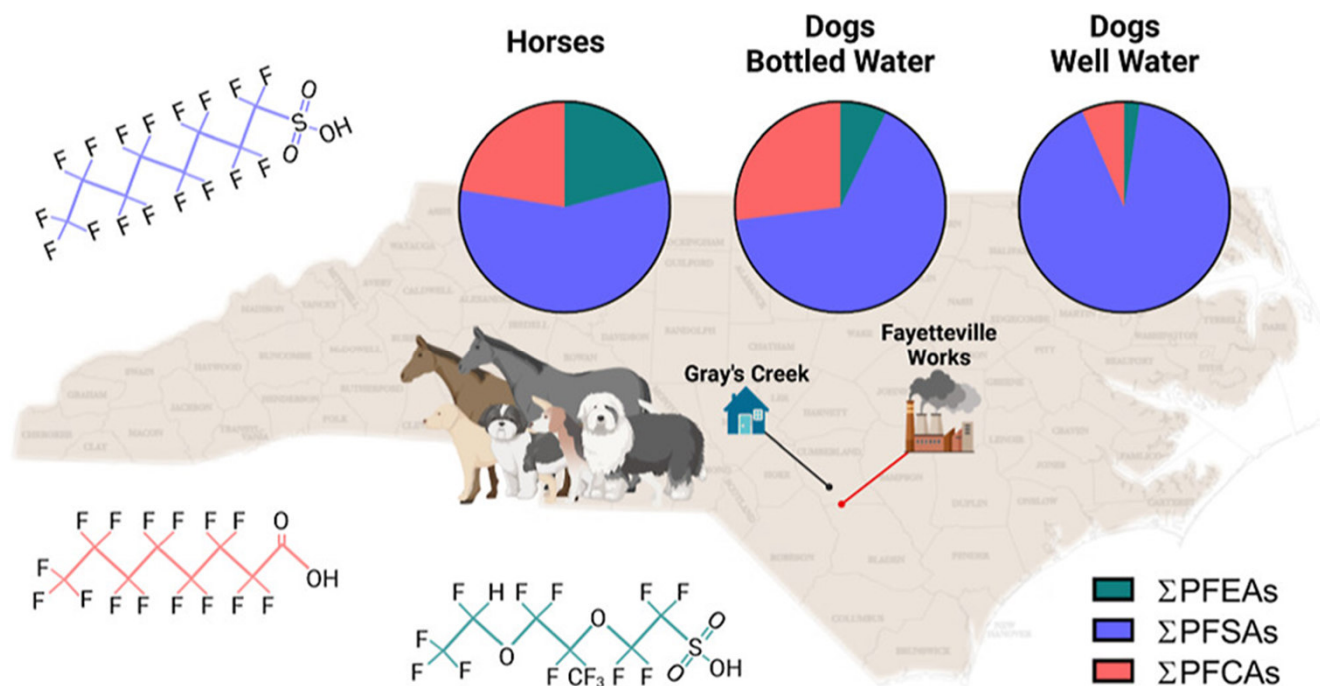


## Domestic Dogs and Horses as Sentinels of Per- and Polyfluoroalkyl Substance Exposure and Associated Health Biomarkers in Gray's Creek North Carolina

Kylie D. Rock,\* Madison E. Polera, Theresa C. Guillette, Hannah M. Starnes, Kentley Dean, Mike Watters, Debra Stevens-Stewart, and Scott M. Belcher\*

Cite This: *Environ. Sci. Technol.* 2023, 57, 9567–9579

[Read Online](#)





# GRAZIE PER L'ATTENZIONE!



*Sacra di San Michele,  
simbolo del Piemonte*