

Livelli di PFAS negli Europei

Uno studio esplorativo



V.C. Lenters, PhD

Prof. M.B.M. van Duursen, PhD, ERT

Rapporto n. R26/001/EHT

22 settembre 2026

Questo rapporto è stato commissionato dal Gruppo Verdi-ALE presso il Parlamento Europeo, Bruxelles, Belgio.

Salute Ambientale e Tossicologia

Facoltà di Scienze
Vrije Universiteit Amsterdam
De Boelelaan 1085
1081 HV Amsterdam
Paesi Bassi

Contatto: secretariat.a-life.beta@vu.nl

Gruppo Verdi-ALE al Parlamento Europeo

Rue Wiertz 60
1047 Bruxelles
Belgio

Contatto: emmanuel.kujawski@europarl.europa.eu

ESCLUSIONE DI RESPONSABILITÀ: La VUA non può essere ritenuta responsabile per la progettazione e l'esecuzione dello studio, né per l'analisi dei livelli di PFAS.

Sintesi e conclusioni principali

Questo studio condotto su 110 volontari è stato eseguito per valutare l'entità e il potenziale rischio per la salute dell'esposizione ai PFAS tra i cittadini europei. Ha incluso l'analisi di quattro PFAS a catena lunga (PFOS, PFOA, PFHxS e PFNA, detti anche EFSA-4) e cinque PFAS a catena ultrabreve (TFMS, TFA, PFETs, PFPrA e PFPrS). Dei 110 partecipanti, 79 hanno compilato un grafico/questionario che ha affrontato i potenziali predittori di esposizione ai PFAS. I principali risultati di questo studio sono elencati di seguito:

Presenza

- **PFAS a catena lunga:** Tutti i partecipanti presentavano i PFAS a catena lunga PFOS, PFOA, PFHxS e PFNA nel siero. I modelli riscontrati erano in linea con quanto comunemente osservato negli studi di biomonitoraggio umano sulla popolazione generale.
- **PFAS a catena ultrabreve:** Tra i PFAS a catena ultrabreve analizzati, sono stati rilevati solo TFA e PFPrA (rispettivamente nel 100% e nel 23% dei partecipanti). I livelli di PFPrA erano relativamente bassi. Al contrario, le concentrazioni di TFA in questo studio erano circa 4-5 volte superiori alla somma dei quattro PFAS a catena lunga. I livelli mediani di TFA nel siero in questo studio sono i più alti mai registrati negli esseri umani fino ad oggi.

Predittori dell'esposizione ai PFAS

- Non sono state osservate chiare differenze nei livelli di PFAS tra i partecipanti provenienti da diversi paesi europei. Tuttavia, ciò non è stato possibile testarlo in modo affidabile a causa del ridotto numero di partecipanti per paese e del limitato contrasto nei livelli di PFAS tra i partecipanti.
- I livelli di PFAS a catena lunga sono aumentati con l'età negli uomini, ma non nelle donne. Questo dato è in linea con quanto riscontrato in altri studi di biomonitoraggio. Non vi erano differenze evidenti nei livelli di TFA tra uomini e donne.
- Le abitudini alimentari autodichiarate sono risultate associate ai livelli di PFAS: come previsto, i livelli di PFAS a catena lunga aumentavano con l'assunzione di pesce/frutti di mare e carne. I livelli di TFA sembravano essere più bassi all'aumentare dell'assunzione di carne (nessuna associazione con pesce/frutti di mare), sebbene le limitate informazioni dietetiche del questionario abbiano impedito di trarre conclusioni definitive sui modelli o sulle fonti alimentari alla base di questa associazione.
- Non sono stati osservati modelli chiari correlati ai livelli di PFAS per gli altri predittori (IMC, uso di statine, frequenza di donazione del sangue, stato menopausale, uso di pentolame antiaderente, frequenza di cibo da asporto, fonte d'acqua - imbottigliata o del rubinetto, prossimità residenziale autodichiarata a fonti industriali o puntiformi, occupazione), sia analizzati singolarmente che in combinazione. Ciò potrebbe essere dovuto al disegno dello studio.

Rischio per la salute

I livelli della somma dei quattro PFAS a catena lunga (Σ EFSA-4 = PFOS + PFOA + PFHxS + PFNA) hanno superato la soglia considerata sicura dall'EFSA in 27 dei 110 partecipanti (25%). Sebbene il superamento sia stato relativamente modesto, con il 5% dei partecipanti più esposti che ha superato la soglia di almeno 1,7 volte, esso oltrepassa i limiti di sicurezza stabiliti e non si possono escludere effetti sulla salute. Ciò è particolarmente preoccupante per le donne in età fertile (4 delle quali hanno superato la soglia nello studio), dati i possibili effetti avversi sul sistema immunitario in sviluppo dei loro (futuri) figli.

Per il TFA, non è attualmente disponibile un valore guida basato sulla salute adeguato per valutare il rischio sanitario dei livelli di TFA nel siero. Tuttavia, le Agenzie Europee hanno recentemente concordato sulla classificazione del TFA come tossico per la riproduzione ("può nuocere al feto" e "sospettato di nuocere alla fertilità") e hanno ridotto l'assunzione giornaliera accettabile a 0,014 mg/kg di peso corporeo al giorno, sottolineando la crescente preoccupazione per l'impatto del TFA sulla salute umana.

Data la struttura dello studio, i risultati del presente rapporto devono essere interpretati con cautela. Ciononostante, supportano l'urgenza di proseguire gli sforzi per ridurre l'esposizione ai PFAS ed evidenziano la necessità di includere i PFAS a catena ultrabreve come il TFA nei futuri studi di biomonitoraggio e impatto sulla salute.

Indice

Sezione	Pagina
Sintesi e conclusioni principali	1
1. Introduzione	3
1.1 Disegno dello studio	3
1.2 Analisi dei dati	4
1.2.1 PFAS nel siero	4
1.2.2 Partecipanti	4
1.2.3 Valore guida basato sulla salute per i PFAS nel siero umano	5
1.2.4 Analisi dei dati	5
2. Valutazione dei risultati e discussione	7
2.1 Livelli sierici di PFAS	7
2.2 Predittori dei livelli sierici di PFAS	9
2.2.1 Paese	9
2.2.2 Sesso ed età	10
2.2.3 Dieta	11
2.2.4 Altri predittori	12
3. Valutazione del rischio: confronto dei livelli di PFAS con i valori soglia EFSA	13
4. Considerazioni	15
5. Conclusione	15
Glossario	17
Bibliografia	18
Informazioni supplementari	20

1. Introduzione

Le sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS) costituiscono un ampio gruppo di sostanze chimiche artificiali note come "inquinanti eterni" poiché non si degradano facilmente nell'ambiente. Di conseguenza, gli esseri umani sono continuamente esposti ai PFAS nel corso della loro vita. L'esposizione ai PFAS può derivare da varie fonti, tra cui acqua potabile e cibo contaminati.

La maggior parte degli studi disponibili sugli effetti sulla salute si concentra sui PFAS a catena lunga, come PFOS e PFOA (Figura 1). È accertato che questi PFAS possono interagire con i processi biologici umani e che un'elevata esposizione può causare danni alla salute. Le evidenze scientifiche dimostrano che i PFAS possono sopprimere la funzione immunitaria e la capacità di combattere le infezioni. Alcuni PFAS sono anche correlati a livelli elevati di colesterolo nel sangue, problemi di fertilità maschile e femminile, e tumori al rene e ai testicoli. Di conseguenza, diverse agenzie internazionali hanno stabilito vari livelli di sicurezza (o soglia) per tutelare la salute umana.

Negli ultimi anni, i PFAS con catene di carbonio fluorurato molto più brevi, come TFA e PFPrA, hanno attirato una crescente attenzione. I livelli di TFA sono aumentati rapidamente negli ultimi anni e rappresentano attualmente il PFAS più abbondante nell'ambiente. Gli studi sugli effetti nocivi dei PFAS a catena ultrabreve rimangono limitati rispetto a quelli sui PFAS a catena lunga. Tuttavia, l'esposizione al TFA è stata collegata ad effetti dannosi sulla riproduzione e sullo sviluppo.

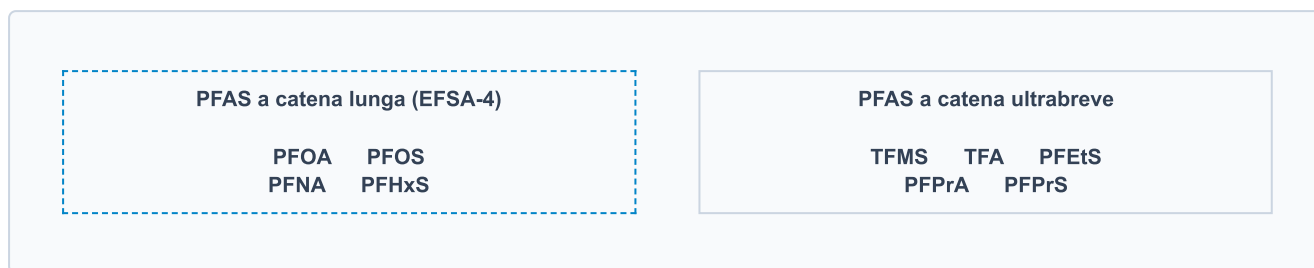


Figura 1. Strutture chimiche dei PFAS a catena lunga e ultrabreve analizzati nel presente studio. PFOS, PFOA, PFHxS e PFNA sono considerati a catena lunga (lunghezza catena ≥ 6 carboni fluorurati), mentre quelli a catena ultrabreve hanno ≤ 3 carboni fluorurati.

1.1 Disegno dello studio

In questo studio, 110 cittadini europei si sono offerti volontari per donare un campione di sangue nell'estate del 2026. I campioni di siero sono stati analizzati per nove singoli PFAS presso l'Istituto di Medicina del Lavoro e Marittima (ZfAM), Centro Medico Universitario Amburgo-Eppendorf (UKE), Amburgo, Germania (Tabella S1). Contestualmente al prelievo, 79 partecipanti hanno completato un questionario sui potenziali predittori del carico corporeo di PFAS. I dati anonimizzati sono stati inviati alla Vrije Universiteit Amsterdam (VUA) per la valutazione dei rischi e delle fonti di esposizione.

1.2 Analisi dei dati

1.2.1 PFAS nel siero

Tutti e quattro i PFAS a catena lunga inclusi nell'analisi sono stati rilevati nel siero di tutti i partecipanti. I livelli di PFOS, PFOA e PFHxS erano tutti superiori al limite di quantificazione (LOQ); solo tre campioni di PFNA su 110 sono risultati inferiori al LOQ. Tra i PFAS a catena ultrabreve, il TFA è stato quantificato nel 100% dei campioni. Il PFPrA è stato rilevato sopra il LOQ in 25 campioni su 110 (22,7%). TFMS, PFETs e PFPrS non sono stati rilevati sopra il LOQ in alcun campione.

1.2.2 Partecipanti

Le informazioni relative a sesso, parità, tipo di area di residenza e paese sono state estratte dai questionari. L'età media era di 40 anni (intervallo 12-78) e 50 partecipanti (64%) erano donne (Tabella 1). I partecipanti risiedevano in nove paesi europei, con Italia (n=29), Belgio (n=15) e Francia (n=12) come paesi maggiormente rappresentati.

Tabella 1. Caratteristiche dei partecipanti allo studio basate sulle informazioni autodichiarate (n=79).

Caratteristica	N ^a	Valore
Età, anni	75	Mediana 40 (intervallo 12-78)
IMC, kg/m ²	71	Mediana 24,3 (intervallo 15,3-43,4)
Sottopeso/Normopeso (<25)	43	61%
Sovrappeso (25-30)	21	30%
Obeso (≥30)	7	10%
Sesso	78	
Femmina	50	64%
Maschio	28	36%
Parità (≥1 gravidanza negli ultimi 10 anni)	77	
Sì (≥1)	26	34%
Nessuna	51	66%
Tipo di area	77	
Urbana	38	49%
Suburbana	21	27%
Rurale	18	23%
Paese	79	Italia (37%), Belgio (19%), Francia (15%), Croazia (13%), Germania (10%), Lussemburgo (2%), Spagna (1%), Danimarca (1%), Finlandia (1%)

^aDove N<79, la differenza riflette dati mancanti per quella caratteristica.

1.2.3 Valore guida basato sulla salute per i PFAS nel siero umano

L'Autorità Europea per la Sicurezza Alimentare (EFSA) ha stabilito un valore guida basato sulla salute (HBGV) per la somma di quattro PFAS (Σ EFSA-4 = PFOS + PFOA + PFNA + PFHxS), calcolando un'assunzione settimanale tollerabile (TWI) di 4,4 ng/kg di peso corporeo/settimana. La TWI è stata derivata da uno studio che mostrava una ridotta risposta anticorpale dopo la vaccinazione nei bambini. È stato calcolato che questa risposta ridotta si verifica al di sopra di livelli sierici di 17,5 ng/mL per Σ EFSA-4 nei bambini di 1 anno allattati al seno.

Utilizzando la modellazione farmacocinetica su base fisiologica e ipotizzando 12 mesi di allattamento al seno, l'EFSA ha stimato che la concentrazione sierica di 17,5 ng/mL nei bambini di 1 anno corrisponde a una concentrazione sierica di 6,9 ng Σ EFSA-4/mL nelle donne all'età di 35 anni. Questo livello negli adulti corrisponde a un'assunzione a lungo termine di 4,4 ng/kg pc/settimana fin dalla tenera età (Figura 2). Pertanto, il livello sierico di 6,9 ng Σ EFSA-4/mL nelle donne può essere considerato un valore soglia oltre il quale non si può escludere una ridotta risposta vaccinale nei bambini piccoli.

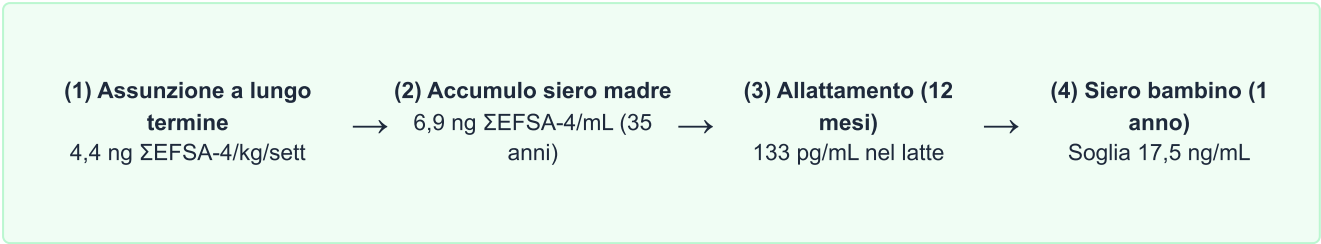


Figura 2. Panoramica schematica della derivazione della TWI per la somma dei 4 PFAS da parte dell'EFSA. Le frecce indicano i passaggi modellati dalla soglia immunitaria nel bambino fino all'assunzione tollerabile nella madre.

Per i PFAS a catena ultrabreve, al momento non esistono HBGV basati sul siero. Tuttavia, il Comitato per la Valutazione dei Rischi dell'ECHA ha raccomandato di classificare il TFA come tossico per la riproduzione (categoria 1B). Nel luglio 2026, l'EFSA ha pubblicato un parere scientifico per abbassare l'assunzione giornaliera accettabile (ADI) per il TFA a 0,014 mg TFA/kg pc/giorno.

2. Valutazione dei risultati e discussione

2.1 Livelli sierici di PFAS

Nell'intero gruppo di studio di 110 partecipanti, la mediana di Σ EFSA-4 nel siero era di 4,6 ng/mL, con il 50% dei partecipanti compreso tra il 25° e il 75° percentile (2,7 - 6,9 ng/mL; Figura 3). Il PFOS ha fornito il maggior contributo relativo (57%), seguito da PFOA (21%), PFHxS (16%) e PFNA (5%). Ciò è in linea con la maggior parte degli studi sulla popolazione generale. In seguito alle restrizioni sulla loro produzione, le concentrazioni di questi PFAS storici ("legacy") sono gradualmente diminuite in Europa negli ultimi due decenni.

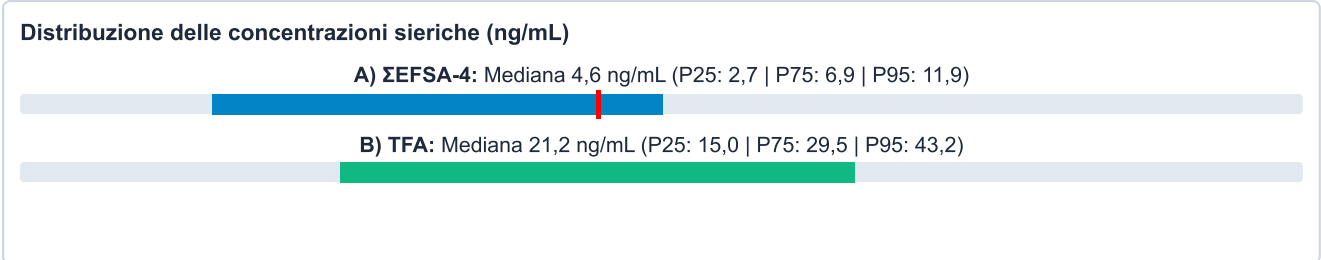


Figura 3. Somma dei livelli sierici di EFSA-4 (A) e TFA (B) in tutti i partecipanti (n=110). La linea rossa tratteggiata rappresenta il valore soglia EFSA per il siero (6,9 ng/mL). Si noti la differenza di scala tra Σ EFSA-4 e TFA.

Allo stesso tempo, sostanze sostitutive a catena più breve e prodotti di degradazione come TFA e PFPrA stanno emergendo nell'ambiente. Nel presente studio, la concentrazione mediana di TFA nel siero era di 21,22 ng/mL (intervallo 4,67-58,35 ng/mL). La concentrazione mediana di PFPrA era di 1,13 ng/mL nei 25 campioni in cui è stato rilevato.

I livelli sierici di TFA misurati nel presente studio sono superiori a quelli riportati nei pochi altri studi disponibili (Tabella S3). In media, i livelli di TFA erano 4,6 volte superiori alla somma dei quattro PFAS a catena lunga. Questi livelli sierici di TFA sono tra i più alti mai registrati negli esseri umani fino ad oggi.

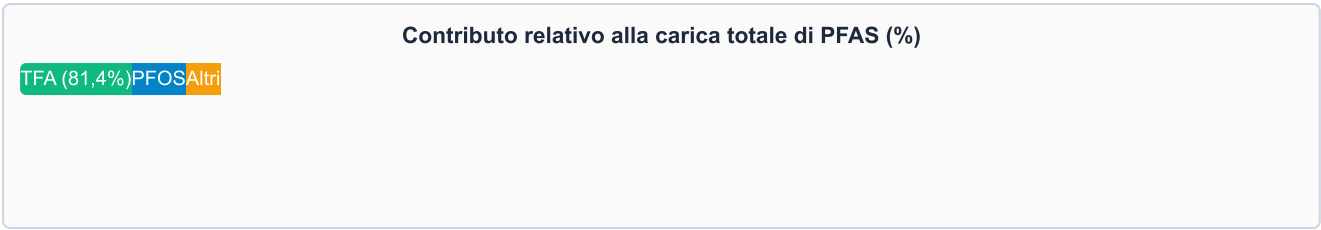


Figura 4. Contributo relativo di ciascun PFAS alla concentrazione totale misurata nel siero (n=110). Il TFA ha rappresentato la quota maggiore (81,4%), seguito dal PFOS (9,9%); ciascuno degli altri PFAS ha contribuito per <4%.

Tutti e quattro i PFAS a catena lunga erano positivamente correlati tra loro (Figura S3). I PFAS a catena ultrabreve TFA e PFPrA erano moderatamente correlati positivamente tra loro ($p = 0,5$), suggerendo una via di esposizione simile. Il TFA ha mostrato solo una debole correlazione con il PFOA e nessuna correlazione significativa con gli altri PFAS a catena lunga.

2.2 Predittori dei livelli sierici di PFAS

2.2.1 Paese

Non sono state evidenziate differenze apparenti nei livelli di Σ EFSA-4 o TFA tra i diversi paesi europei (Figura 5), sebbene il numero ridotto e disuguale di partecipanti per paese impedisca un confronto statistico significativo. In tutti i paesi, i livelli di TFA sono risultati sistematicamente più elevati dei livelli di Σ EFSA-4.

2.2.2 Sesso ed età

I predittori più importanti per la somma dei PFAS a catena lunga (ΣEFSA-4) sono risultati il sesso e l'età. In media, i maschi presentavano livelli più elevati rispetto alle femmine (mediana 7,3 ng/mL negli uomini vs 3,7 ng/mL nelle donne; Figura 6A). I livelli di ΣEFSA-4 aumentavano con l'età negli uomini, ma non nelle donne (Figura 6B). Questa differenza legata al sesso è ben documentata ed è in parte dovuta all'eliminazione dei PFAS nelle donne tramite mestruazioni e allattamento.

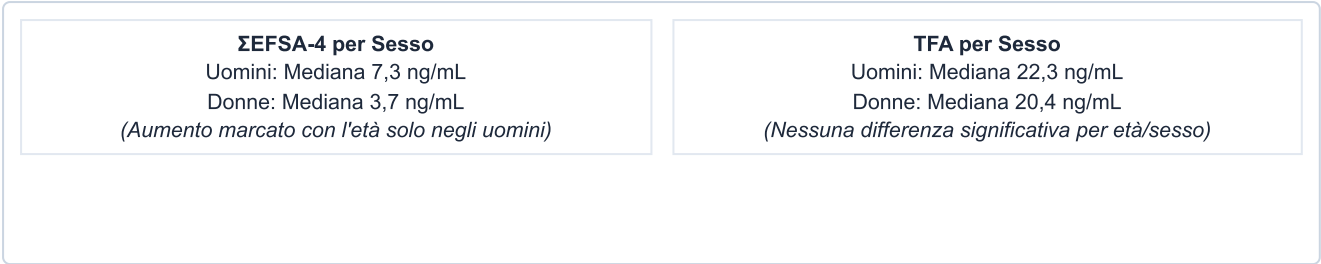


Figura 6. Concentrazioni sieriche di ΣEFSA-4 e TFA per età e sesso. I livelli di ΣEFSA-4 erano più elevati negli uomini e tendevano ad aumentare con l'età. Non sono state osservate differenze statisticamente significative per il TFA tra uomini e donne o per classi di età.

A differenza dei PFAS a catena lunga, il TFA ha un'emivita di eliminazione riportata nell'uomo di circa 16-60 ore, il che significa che non rimane a lungo nel corpo. Ciò indica che i livelli elevati di TFA misurati nel siero sono il risultato di un'esposizione frequente e continua a quantità significative di TFA nella vita quotidiana.

2.2.3 Dieta

I partecipanti che hanno riportato una dieta prevalentemente a base di carne o pesce presentavano livelli di Σ EFSA-4 più elevati rispetto ai partecipanti vegetariani o vegani (Figura 7A). Un maggiore consumo di pesce/frutti di mare e di carne è risultato associato a livelli più elevati di PFAS a catena lunga. Il pesce e i frutti di mare sono noti per contenere concentrazioni elevate di PFAS e rappresentano la principale fonte alimentare di esposizione.

Tendenze dietetiche osservate:

- **Σ EFSA-4:** Ricco di carne > Pescetariano > Onnivoro > Vegetariano > Vegano
- **TFA:** Nessuna associazione con il tipo di dieta globale o con il consumo di pesce. Un maggiore consumo di carne è risultato inversamente associato ai livelli di TFA.

Figura 7. Concentrazioni sieriche di PFAS in base al tipo di dieta e al consumo di pesce/carne. Il consumo di carne e pesce aumenta i livelli di Σ EFSA-4, mentre il TFA mostra una relazione inversa con il consumo di carne.

Al contrario, i livelli di TFA non hanno mostrato un'associazione diretta con il tipo di dieta generale. La relazione inversa tra consumo di carne e TFA potrebbe riflettere abitudini alimentari dei consumatori a basso contenuto di carne, come un maggiore consumo di bevande o alimenti di origine vegetale ricchi di TFA accumulato dall'acqua irrigua.

2.2.4 Altri predittori

Il questionario ha esaminato diversi altri fattori noti per influenzare i livelli di PFAS. Oltre a età, sesso e dieta, nessuna altra variabile è risultata significativamente associata ai livelli di Σ EFSA-4, inclusi IMC, uso di statine, frequenza di donazione del sangue, stato menopausale, uso di pentolame antiaderente, frequenza di consumo di cibo da asporto, fonte d'acqua (in bottiglia o del rubinetto) e prossimità ad aree industriali.

Le persone che lavorano a contatto con i PFAS (es. vigili del fuoco o lavoratori dell'industria chimica) o che vivono in comunità con acqua contaminata mostrano spesso profili ematici differenti. Nel nostro studio, 14 partecipanti hanno dichiarato di aver lavorato come vigili del fuoco o nell'industria fluorochimica; tuttavia, i loro livelli mediani di Σ EFSA-4 non differivano in modo significativo dagli altri partecipanti dopo la correzione per età e sesso.

Le fonti di TFA e PFPrA sono meno definite. Entrambi sono prodotti di degradazione di refrigeranti fluorurati, farmaci, prodotti fitosanitari e altri PFAS. È noto che il TFA si accumula nelle risorse idriche e nelle colture agricole. Nel presente studio non sono stati individuati predittori univoci per il TFA sulla base dei questionari.

3. Valutazione del rischio: confronto dei livelli di PFAS con i valori soglia EFSA

Tutti e quattro i PFAS dell'EFSA sono stati rilevati nei campioni di siero di tutti i partecipanti. Per valutare i potenziali rischi per la salute, i livelli sono stati sommati e confrontati con il valore soglia di 6,9 ng/mL stabilito dall'EFSA. Su 110 partecipanti, 27 (25%) hanno superato la soglia di sicurezza EFSA. Al 95° percentile, il superamento è stato di 1,7 volte (11,9 ng/mL).

Considerando solo le donne in età fertile (≤ 49 anni; $n=46$), 4 su 46 (9%) hanno superato la soglia EFSA per il siero.

Tabella 3. Somma dei PFAS EFSA-4 nel siero rispetto al valore soglia EFSA ($n=110$).

Gruppo	Siero P50 (ng/mL)	Siero P95 (ng/mL)	% sopra soglia EFSA	Rapporto misurato / Soglia (6,9 ng/mL) P95
Tutti i partecipanti ($n=110$)	4,6	11,9	25% (27 su 110)	1,7 x
Donne in età fertile (≤ 49 anni; $n=46$)	3,4	7,8	9% (4 su 46)	1,1 x

Oltre la metà dei partecipanti maschi ha superato la soglia EFSA (15 su 28 maschi; 54%), raggiungendo un superamento di 2,0 volte al P95. Sebbene il superamento sia modesto, la presenza ubiquitaria di queste sostanze e l'aumento con l'età confermano un'esposizione continua lungo tutto l'arco della vita.

Nel luglio 2026, l'EFSA ha aggiornato l'HBGV per il TFA, abbassando l'assunzione giornaliera accettabile (ADI) a 0,014 mg/kg pc/giorno a causa di alterazioni degli ormoni tiroidei riscontrate in studi su animali. Poiché l'ADI dell'EFSA si riferisce all'assunzione orale esterna, non può essere confrontata direttamente con i livelli sierici senza un modello tossicocinetico.

Utilizzando un modello tossicocinetico monocompartimentale semplificato, abbiamo stimato che un'assunzione giornaliera di TFA pari all'ADI EFSA porterebbe a livelli sierici allo stato stazionario di circa 0,024 mg/L (= 24 ng/mL). Questa stima approssimativa è leggermente superiore alla mediana di TFA riscontrata nel nostro studio (21,2 ng/mL), suggerendo che i partecipanti potrebbero avere un'assunzione giornaliera di TFA pari a circa il 90% dell'ADI stabilito dall'EFSA.

Tuttavia, ipotizzando un'emivita più lunga del TFA (61 ore anziché 16 ore), l'assunzione giornaliera stimata corrisponderebbe a circa il 23% dell'ADI. Questi calcoli evidenziano l'urgente necessità di raccogliere dati tossicocinetici più precisi per l'uomo.

4. Considerazioni

Questo studio è stato reso possibile dalla partecipazione di 110 volontari in tutta Europa. Non è stato progettato per ottenere un campione rappresentativo dell'intera popolazione europea, né per esaminare uno specifico sottogruppo esposto professionalmente. La dimensione del campione limita la potenza statistica, pertanto i risultati devono essere interpretati come indicativi.

La concentrazione esclusiva sui quattro PFAS della miscela EFSA-4 potrebbe sottostimare l'esposizione totale ai PFAS, poiché i cittadini sono esposti a miscele complesse contenenti numerosi altri composti fluorurati con tossicità simile.

5. Conclusione

Questo studio esplorativo conferma che l'esposizione ai PFAS a catena lunga e ultrabreve è diffusa tra i cittadini europei. I livelli di PFAS a catena lunga hanno superato le soglie di sicurezza EFSA nel 25% dei partecipanti. Il TFA è stato rilevato nel 100% dei campioni con concentrazioni da 4 a 5 volte superiori rispetto alla somma dei PFAS tradizionali.

I risultati sottolineano l'urgenza di monitorare continuamente i PFAS a catena ultrabreve e di implementare misure normative efficaci per limitare la produzione e la dispersione di queste sostanze nell'ambiente e nelle fonti idropotabili.

Glossario

Termine	Definizione
ADI (Assunzione Giornaliera Accettabile)	La quantità di una sostanza che può essere consumata ogni giorno nell'arco della vita senza rischi apprezzabili per la salute. Espressa in mg/kg di peso corporeo/giorno.
HBGV (Valore Guida Basato sulla Salute)	Termine generale per un livello di esposizione ritenuto privo di rischi apprezzabili. ADI e TWI sono esempi di HBGV.
LOQ (Limite di Quantificazione)	La concentrazione minima di una sostanza che può essere misurata in modo affidabile con accuratezza e precisione accettabili.
PFAS a catena lunga	PFAS con catene di carbonio più lunghe (≥ 6 carboni per gli acidi solfonici, ≥ 7 per i carbossilici). Esempi: PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS. Tendono ad accumularsi nel corpo.
PFAS a catena ultrabreve	PFAS con catene di carbonio molto corte (≤ 3 atomi di carbonio). Molto persistenti e mobili nell'acqua, vengono escreti più rapidamente. Esempi: TFA, PFPrA.
TWI (Assunzione Settimanale Tollerabile)	La quantità di una sostanza che può essere assunta ogni settimana per tutta la vita senza rischi significativi. Usata per composti ad alto accumulo.
Tossicocinetica	Lo studio quantitativo del percorso di una sostanza nel corpo: assorbimento, distribuzione, metabolismo ed eliminazione ("ciò che il corpo fa alla sostanza").
ΣEFSA-4	La somma delle concentrazioni sieriche dei 4 PFAS inclusi nella TWI dell'EFSA: PFOS, PFOA, PFNA e PFHxS.

Ringraziamenti e Bibliografia

Ringraziamenti: Gli autori desiderano ringraziare il Dr. T.H.M. Hamers per la revisione critica di questo rapporto e il supporto con la modellazione cinetica.

Riferimenti bibliografici principali

1. EFSA CONTAM Panel (2020). Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA Journal*, 18(9):6223.
2. ECHA (2026). Minutes of the 77th Meeting of the Committee for Risk Assessment (RAC-77).
3. EFSA (2026). Scientific Report on consumer health-based guidance values for trifluoroacetic acid. *EFSA Journal*, 24:e10227.
4. Rosato et al. (2024). Estimation of per- and polyfluoroalkyl substances half-lives in human studies. *Environ Res*, 242:117743.
5. Yeung et al. (2026). Extractable organofluorine and target PFAS, including TFA, in human serum from a Norwegian cohort. *Environ Int*, 211:110280.
6. Selke et al. (2026). Analysis of ultra short-chain PFAS in urine: first human biomonitoring results from the German National Cohort (NAKO). *Environ Int*, 110504.
7. Riou et al. (2026). Diet, lifestyle, and sociodemographic influences on serum concentration of PFASs in Switzerland. *Environ Int*, 211:110251.
8. Bil et al. (2025). PFAS in bloed van de Nederlandse bevolking. RIVM-briefrapport 2025-0094.

Informazioni supplementari

Tabella S1. PFAS analizzati nei campioni di siero e limiti di quantificazione (LOQ).

Classe	Sigla	Nome Chimico	LOQ (ng/mL)
Ultrabreve (C1)	TFMS	Acido trifluorometansolfonico	0,05
Ultrabreve (C2)	TFA	Acido trifluoroacetico	1,00
Ultrabreve (C2)	PFEtS	Acido perfluoroetansolfonico	0,05
Ultrabreve (C3)	PFPrA	Acido perfluoropropanoico	0,60
Catena Lunga (C6)	PFHxS	Acido perfluoroesansolfonico	0,04
Catena Lunga (C8)	PFOA	Acido perfluorooctanoico	0,04
Catena Lunga (C8)	PFOS	Acido perfluorooctansolfonico	0,10
Catena Lunga (C9)	PFNA	Acido perfluorononanoico	0,05