



## PFASs – evitare l'effetto lampione

La recente crescente attenzione al problema della diffusione ambientale dei PFAS trova particolare motivo di interesse nell'Italia settentrionale, in quanto qui sono stati localizzati due importanti centri di produzione europei: Solvay di Spinetta Marengo (Alessandria) e Miteni di Trissino (Vicenza), rispettivamente in Piemonte e in Veneto. Mentre il primo impianto è tuttora in funzione, il secondo è stato chiuso recentemente, in seguito alla scoperta che almeno 350000 persone sono state esposte per lungo tempo all'assunzione di PFAS tramite l'acqua che usciva dai rubinetti delle case nei territori situati a valle dell'impianto. Se il rifacimento degli acquedotti permetterà di eliminare questa fonte di contaminazione, il problema non sarà ancora risolto, perché la produzione in loco degli alimenti necessariamente usa acque di falda che rimarranno inquinate per decenni a venire, oltre al fatto che i PFAS continuano ad essere prodotti altrove in Italia e in Europa e quindi a circolare nell'ambiente, anche per via aerea quando si tenta di incenerirli. La gravità della contaminazione ha suscitato la preoccupazione della popolazione e la necessità di disporre di una corretta informazione sul problema. Infatti, il tema PFAS è argomento specialistico per chimici, epidemiologi, endocrinologi, pertanto di difficile comunicazione al grande pubblico. La piattaforma online PFAS.land, che ha tradotto per il pubblico italiano il breve ma illuminante articolo di Jean-Luc Wietor (EEB) *PFASs – avoiding the streetlight effect*, è nata proprio per colmare l'assenza di informazione accessibile a tutti. Solo il coinvolgimento dei cittadini nelle problematiche che li riguardano, prima di tutto la salute, può realizzare una società al passo delle difficili sfide del ventunesimo secolo e una compiuta democrazia. Ci auguriamo che la lettura di questo breve articolo corredata da efficacissime illustrazioni possa contribuire ad una migliore consapevolezza del pubblico italiano, in particolare delle giovani generazioni che erediteranno il pianeta.

**Comitato di Redazione PFAS.land**

12 gennaio 2021

# PFASs – evitare l'effetto lampione (streetlight effect)

Il punto sulla situazione in Eu<sup>1</sup>

## Sintesi

I PFAS (sostanze per- e polifluoroalchiliche) stanno ricevendo una crescente attenzione regolamentatoria a causa della loro persistenza e del loro profilo (eco)tossicologico, come pure per il loro ampio uso che ne determina una presenza ubiquitaria. È stato detto che esistono più di 4700 PFAS, sebbene la maggior parte di coloro che conoscono l'argomento possa citarne solo pochi.

In questo rapporto abbiamo usato le registrazioni REACH<sup>2</sup> dei PFAS, letteratura indipendente, informazioni tecniche dei produttori e conoscenze generali di chimica per delineare quali tipi di PFAS sono prevalenti nei prodotti e pertanto hanno la probabilità di comportare le pressioni ambientali più elevate.

Concludiamo che i tipi di PFAS di cui preoccuparci di più sono: sostanze fluorotelomeri (FT) e le derivate catene laterali di polimeri fluorati (SCFP) nonché gli (poli)eteri fluorati. Questo rapporto deve essere inteso anche come un'introduzione al mondo dei PFAS.

Le iniziative di regolamentazione attuali sui PFAS C6 e sui PFAS in senso lato sono benvenute e necessarie.

Questo rapporto non è né esaustivo né perfetto, potendo includere errori dovuti a conoscenza o esami insufficienti. Chiediamo gentilmente al lettore di fornire commenti se necessari.

## 1. L'effetto lampione

---

*Una storiella racconta di un ubriaco che cerca sotto un lampioncino la chiave di casa, che gli è caduta a una certa distanza. Interrogato sul perché non la cerchi dove gli è caduta, egli risponde "ma qui c'è più luce".*

---

Questo aneddoto<sup>3</sup> illustra un comune errore: ci focalizziamo su elementi familiari perché li conosciamo meglio, mentre tendiamo a dimenticare quelli poco conosciuti che però potrebbero essere più importanti.

Lo scopo di questo rapporto è di far luce su quei PFAS che non sono all'attenzione dei media, ma che stanno ricevendo crescente attenzione da parte dei (eco)tossicologi e degli estensori delle normative.

---

<sup>1</sup> Si ringrazia il Dr Zhanyun Wang di ETH Zurigo (Svizzera) per la lettura critica del manoscritto.

<sup>2</sup> La sigla REACH deriva dall'inglese e indica «registrazione, valutazione, autorizzazione e restrizione delle sostanze chimiche». Il REACH è un regolamento dell'Unione europea, adottato per migliorare la protezione della salute umana e dell'ambiente dai rischi che possono derivare dalle sostanze chimiche.

<sup>3</sup> Come riferito da A. Kaplan nel suo fondamentale lavoro "The Conduct of Inquiry" nel 1964.

## 2. Abbiamo un PFroblema

Le conclusioni del Consiglio del giugno 2019 (Figura 1) descrivono i rischi ambientali e sanitari più rilevanti posti dai PFAS<sup>4</sup> e richiamano ad un'azione drastica per porre fine a queste minacce.

*Figura 1: estratto dalle conclusioni del Consiglio dell'Unione Europea, giugno 2019*

14. SOTTOLINEA le crescenti preoccupazioni in materia di salute e ambiente derivanti da sostanze chimiche altamente persistenti; RILEVA nello specifico la crescente quantità di prove degli effetti negativi causati dall'esposizione a composti altamente fluorurati (PFAS), le prove di una presenza diffusa di PFAS nelle acque, nel terreno, negli articoli e nei rifiuti nonché la minaccia che ciò può rappresentare per l'approvvigionamento di acqua potabile;  
**INVITA la Commissione a sviluppare un piano d'azione teso a eliminare tutti gli usi non essenziali di PFAS;**

Il focus di tale piano d'azione è sui PFAS a catena corta (C4, C6 ed alcuni casi più complicati, vedi l'inserto), poiché quelli a catena lunga sono stati già largamente regolamentati. I ricercatori hanno proposto la differenziazione degli usi dei PFAS<sup>5</sup> basata sulla definizione di essenzialità del protocollo di Montreal<sup>6</sup>, che ha bandito i CFC (clorofluorocarburi) nel 1987.

## 3. Conosci il tuo aPFersario

Una regolamentazione efficace che incontri l'ambizione del Consiglio UE si baserà su una semplice ma sufficientemente ampia e chiara definizione dei PFAS priva di scappatoie che si prestino a spiacevoli sostituzioni. Per questo, è utile descrivere l'attuale "fotografia di famiglia" dei PFAS, specialmente quella dell'UE.

### 3.1. Una dissonanza cognitiva

Nelle discussioni sui PFAS spesso si sentono due affermazioni contradditorie, come illustrato dalla Figura 2.

*Figura 2: Dissonanza cognitiva delle dichiarazioni sui PFAS*



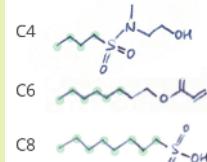
Se da un lato in registri (*elenchi ufficiali di sostanze, ndt*) diversi si può trovare un numero sconcertante di sostanze differenti<sup>7</sup>, dall'altro il sapere collettivo, i siti web, gli

### Lunghezza della catena

I PFAS vengono spesso (impropriamente) divisi in Pfas a catena più lunga o a catena più corta, e questa separazione può spesso confondere. Quelli a catena corta hanno meno di otto atomi di carbonio perfluorato (sono spesso chiamati C6 e C4). Essi hanno sostituito quelli a catena lunga (da C8 in su) in gran parte scomparsi dal mercato (ma non dall'ambiente) per effetto delle azioni intraprese in base alla convenzione di Stoccolma.

Dal punto di vista (eco)tossicologico non esiste una soglia definita (come per esano ed etano). È tutto un grande continuum sfocato dominato dalla bioaccumulabilità per i PFAS a catena lunga e dalla mobilità per quelli a catena corta. I PFAS sono tutti altamente persistenti, ma alcuni, oltre a tutto ciò, riservano delle brutte sorprese (vedi sezione 6.3).

Alcuni esempi: (l'alone verde denota un atomo di carbonio perfluorato)



<sup>4</sup> Un'introduzione chiara e concisa sui PFAS è disponibile [alla pagina dedicata dell'ECHA](#).

<sup>5</sup> [I. T. Cousins et al., Environ. Sci.: Processes Impacts, 2019, 21, 1803.](#)

<sup>6</sup> [Decision IV/25: Essential Uses](#)

<sup>7</sup> [OECD ENV/JM/MONO\(2018\)7](#), p. 16.

articoli scientifici e giornalistici tendono a ruotare attorno solo a pochissime sostanze PFAS – le due più famose delle quali (PFOA e PFOS) sono state in gran parte messe al bando. In questo studio tentiamo di risolvere questa dissonanza cognitiva.

### 3.2.Registrazione REACH come sorgente d'informazione

Il regolamento REACH<sup>8</sup> richiede la registrazione di composti chimici prodotti o usati in quantità maggiori di 1 tonnellata per anno. Sebbene in molti altri casi l'altezza di questa soglia sia da considerarsi preoccupante, è tuttavia sufficientemente bassa da fornire un quadro attendibile degli usi industriali su larga scala e delle emissioni. Il REACH distingue sostanze, miscele e articoli<sup>9</sup> prodotti e usati fuori o dentro la UE, come mostrato in Figura 3.

*Figura 3: Schema degli obblighi di registrazione delle sostanze chimiche in REACH (per volumi > 1 ton/anno)*

PFAS present in:



	substance	mixture	article
Manufactured in EU	✓	✓	✓
Imported for use	✓	✓	✗

Nei casi con la spunta verde i prodotti chimici devono essere registrati sotto il REACH; solo per le sostanze contenute in articoli importati nell'UE l'obbligo non esiste<sup>10</sup>. Naturalmente questo è una lacuna nei dati, ma considerando gli usi tipici dei PFAS non dovrebbe distrarre dall'esistenza di informazioni negli altri cinque casi.

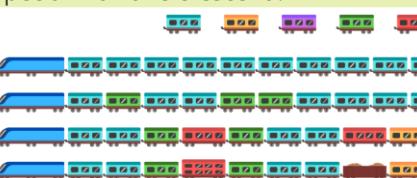
I polimeri (vedi inserto) sono esentati dalla registrazione, ma i monomeri usati per fare i polimeri sono soggetti a registrazione.

Il sito ECHA elenca tutti i composti chimici registrati: le sostanze PFAS rilevanti possono essere riconosciute, sebbene con un notevole lavoro manuale.

#### Monomeri e polimeri:

Una semplice analogia: un monomero sta ad un polimero come una carrozza sta ad un treno.

Dall'alto al basso: cinque differenti monomeri, un omopolimero e tre copolimeri di complessità e specializzazione crescenti.



Monomeri diversi possono essere usati per impartire ai polimeri proprietà diverse. Nel caso del (meta)crilato l'omopolimero può corrispondere al PMMA (Plexiglas) o supercolla, mentre i copolimeri possono corrispondere a una vernice al lattice, a un superassorbente o a molti PFAS polimerici.

<sup>8</sup> Regolamento 1907/2006, descrizione nel sito web ECHA.

<sup>9</sup> Le tre icone della Figura 3 illustrano il significato delle 3 classi: un articolo è un oggetto che ha una sua forma (es. la giacca impermeabile impregnata di PFAS); lo spray o il liquido usato per impregnare la giacca è considerato, nella maggior parte dei casi, una miscela; la "molecola" di PFAS considerata in se stessa è una sostanza.

<sup>10</sup> Si potrebbe essere tentati di pensare che le sostanze usate negli articoli di consumo prodotti nell'EU non richiedano registrazione. Questo è vero solo in linea di principio. Tuttavia, considerando i tipici prodotti di consumo trattati con i PFAS (abbigliamento outdoor, scarpe, tappeti/moquette, tovaglie), il trattamento con i PFAS molto probabilmente si situa nelle fasi finali del processo produttivo: la fase in cui i prodotti sono impregnati con i PFAS rappresenta l'uso di una miscela e richiede pertanto la registrazione.

### 3.3.Presupposti e limitazioni

In questa ricerca siamo partiti dal seguente presupposto:

---

*Presupposto: "Le aziende stanno operando legalmente quando si tratta di registrare i PFAS nel REACH."*

---

Essenzialmente, ciò significa che le informazioni sulla registrazione possono essere prese come veritieri. In questa ricerca non abbiamo mai trovato prove contrarie a questo audace presupposto.

### 3.4.L'approccio “toolbox” (cassetta degli attrezzi)

Molti dei composti della cosiddetta “chimica fine” sono prodotti in diverse fasi. Chi conosce le tecniche di produzione della chimica industriale può spesso fare ipotesi attendibili sui passaggi di sintesi precedenti o successivi per ciascun composto, così come su funzioni e usi probabili e improbabili. Ciò è importante per i monomeri, in quanto i prodotti delle fasi successive (cioè i polimeri) non richiedono la registrazione. Il fondamento logico di queste ipotesi attendibili può essere chiesto all'autore.

## 4. Fotografia di famiglia dei PFAS

### 4.1.Registrazioni REACH: aspetti qualitativi

Lo sforzo noioso e in gran parte manuale<sup>11</sup> di selezionare PFAS dall'archivio ECHA ha prodotto 67 sostanze per varie fasce di tonnellaggio di produzione annua, come mostrato in Figura 4<sup>12</sup>. Tali sostanze sono state registrate da varie aziende; i più noti produttori di PFAS detengono la maggior parte delle registrazioni.

*Figura 4: numero di sostanze registrate per fascia di tonnellaggio (sinistra) e per produttori selezionati (destra)*

Registered tonnage band			Registrant	Count
Min (t/y)	Max (t/y)	Count		
10,000	100,000	3	Chemours	20
1,000	10,000	2	3M	23
100	1,000	12	Solvay	9
10	100	17	Daikin	1
1	10	26	others	32
intermediate only		7		
<b>SUM</b>		<b>67</b>		

Qualche commento:

- solo poche sostanze sono registrate nelle due fasce di tonnellaggio più elevate
- le fasce con tonnellaggio >100 t/a coprono più del 99% del volume registrato
- per le 7 sostanze registrate come solo intermedie il tonnellaggio è sconosciuto
- il tonnellaggio totale di tutte le sostanze registrate è circa 335.000 t/a

<sup>11</sup> Sono state escluse le sostanze con due o meno atomi di carbonio perfluorurati consecutivi, tranne quando possono essere usati come monomeri per fluoropolimeri.

<sup>12</sup> Disclaimer: questo numero è il risultato di una valutazione personale; molte sostanze si trovano in un'area grigia e potrebbero essere più o meno rilevanti per il discorso dei PFAS. Altri esperti potrebbero giungere a conclusioni leggermente diverse. Precisazioni simili sono notificate nello studio OECD citato alla nota 7. L'autore invita i lettori a comunicare i loro dubbi in merito alla rilevanza o correttezza di questa cifra.

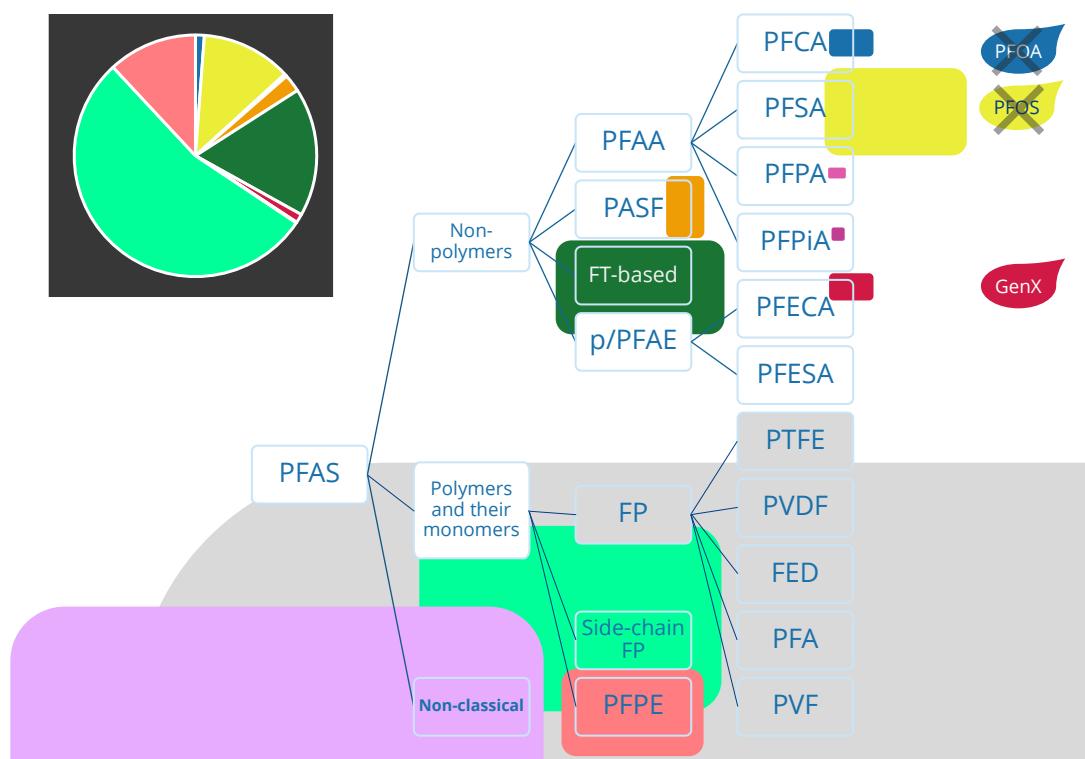
- la maggior parte delle sostanze sono monocostituenti (cioè con purezza > 80%).

#### 4.2. Riordinare il disordine

Ci sono molti modi di categorizzare i PFAS; noi abbiamo adottato uno schema proposto dall'Organizzazione per la Cooperazione Economica e lo Sviluppo (OECD)<sup>13</sup> (Figura 5). Questo grafico è piuttosto impegnativo: prendetevi il tempo necessario per esaminarlo passo dopo passo:

- Non preoccupatevi del significato degli acronimi
- Le tipologie di PFAS usate per le successive analisi in questo studio sono segnalate con i colori
- Colori simili indicano le strutture chimiche correlate
- Le tipologie dei tre PFAS primitivi (sezione 3.1), dei quali due non sono registrati.
- Ancora più importante: le aree colorate rappresentano le fasce di tonnellaggio registrate; il grafico a torta fornisce ulteriori dettagli sui tipi di PFAS non-dominanti.

Figura 5: proposta di classificazione dei PFAS e relativi volumi registrati.



Quali sono gli elementi importanti?

- i monomeri per fluoropolimeri (FP, area grigia, che si estende ben oltre i limiti della presente immagine) sono prepotentemente dominanti (paragrafo 5.1)
- i PFAS non classici sono di gran lunga la seconda classe più estesa (colore viola, paragrafo 5.2)
- volumi importanti riguardano
  - gli FT e gli FP a catena laterale (tonalità verdastre, paragrafi 5.6 e 6)
  - i (poli)eteri (tonalità rossastre, paragrafo 5.5)

<sup>13</sup> OECD (2013), OECD/UNEP Global PFC Group, *Synthesis paper on per- and polyfluorinated chemicals (PFCs)*, Environment, Health and Safety, Environment Directorate, OECD, p. 7.

- Acidi sulfonici e derivati (tonalità giallastre, paragrafo 5.4)
- Due dei tre PFAS precursori appartengono a tipologie che rappresentano volumi minori.

Diamo un'occhiata a queste varie tipologie, una per volta.

## 5. I membri più importanti della famiglia

### 5.1. Fluoropolimeri (FP)

I fluoropolimeri sono principalmente omopolimeri e copolimeri semplici, o, per usare la similitudine del treno, sono treni formati da una sola o poche carrozze piuttosto normali. Dei cinque polimeri segnati in Figura 5, il più famoso è il PTFE meglio conosciuto come Teflon. Molte applicazioni degli FP sono mostrate in Figura 6.

Mentre gli FP rappresentano volumi molto elevati, non sono quasi mai al centro delle valutazioni sui PFAS. Confrontati con la piccolissima molecola dei PFAS e dei polimeri fluorurati a catena laterale (SCFP, vedi paragrafi 5.6 e 6), gli FP hanno solubilità trascurabile, bassa mobilità, grandi dimensioni, basso assorbimento biologico e dunque rappresentano una minore preoccupazione (eco)tossicologica. Ovviamente questo non significa che non necessitano di attenzione (eco)tossicologica o di regolamentazione!

#### Catena principale o catena laterale?

La maggior parte dei polimeri assomigliano a un treno o a un pettine. Sia l'"asta" che i "denti" possono essere completamente o parzialmente fluorurati oppure non fluorurati.

I fluoropolimeri del paragrafo 5.1 hanno per la maggior parte un'"asta" (o catena dorsale - *backbone* - o catena principale) che è parzialmente o totalmente fluorurata. I perfluoropolieteri (paragrafo 5.5) sono totalmente fluorurati. Alcuni hanno solo una catena dorsale (*backbone*), altri hanno catene laterali.

I fluoropolimeri a catena laterale sono i veri polimeri a forma di pettine. Essi hanno una catena dorsale non fluorurata e, soprattutto, (alcuni) denti fluorurati.

*Figura 6: esempi di applicazioni di fluoropolimeri (FP): nastro per giunture, isolamento di cavi, padelle, tubazioni, cuscinetti, tubi medicali.*



### 5.2. PFAS non-classici

Sono alcune sostanze completamente fluorurate, ma con struttura chimica e proprietà molto diverse dai PFAS più comuni. Qualche esempio di struttura chimica è presentato nella Figura 7; sono usati come solventi, come fluidi che trasportano calore e come dielettrici<sup>14</sup>.

*Figura 7: Selezione di alcune strutture di PFAS non-classici.*



### 5.3. Intermezzo: altri usi

Sinora sono stati menzionati e identificati i PFAS impiegati per usi prevalentemente tecnici e alquanto oscuri. Diamo un'occhiata ad alcuni degli altri - meglio conosciuti - utilizzi (Figura 8).

<sup>14</sup> Probabilmente come sostituti dei policlorobifenili (PCBs)

I paragrafi seguenti (da 5.4 a 6) chiariranno queste applicazioni. Tenete a mente che le schiume antincendio hanno un alto potenziale di contaminazione ambientale. Anche i trattamenti superficiali (su pietra, tessili, cuoio) facilmente rilasciano frammenti di PFAS durante l'uso, a causa della grande area esposta agli elementi e della parziale degradabilità degli FT (paragrafo 6.3).

*Figura 8: Alcuni usi dei PFAS non spiegati in questa relazione, da sinistra a destra: schiume antincendio per incendi di petrolio, cromature, trattamenti idro- e oleo-repellenti (per superfici di cemento o pietra, tappeti, tovagliette, abbigliamento sportivo, valigie e tende), come ausilio tecnico nella produzione di fluoropolimeri come il PTFE.*



#### 5.4.Derivati del fluoruro di sulfonile

Il rappresentante più famoso di questa classe è l'ormai bandito PFOS (C8)<sup>15</sup>; gli altri componenti di questa categoria si basano sui C4. Essi includono il PFBS<sup>16</sup> (recentemente identificato come un SVHC), come pure altri due derivati<sup>17</sup> registrati nella fascia di tonnellaggio 100-1000 ton/anno.

#### 5.5.(Poli)eteri

Ben 15 sostanze sono usate come eteri a molecola piccola (di cui il GenX, vedi inserto) e monomeri per polimeri a base polietere. Queste sostanze sono spesso usate come lubrificanti e tensioattivi. Il lettore è rinvia ad una recente completa rassegna<sup>18</sup> di queste sostanze.

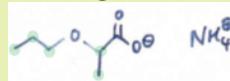
#### 5.6.Sostanze fluorotelomeri (FT)

Le rimanenti 26 sostanze completamente registrate<sup>19</sup>, che totalizzano 6000 ton/a sono probabilmente le più interessanti e recentemente hanno attratto la crescente attenzione dei regolamentatori: due valutazioni CoRAP ed una proposta per un'ampia restrizione nell'ambito del REACH per le sostanze C6. In questo caso si tratta di quelle che sono normalmente chiamate "tecnologia C6", eppure non sono quello che logicamente ci si aspetta di trovare a metà strada tra le tecnologie C4 e C8. In particolare, la tecnologia C6 è straordinariamente versatile nel tipo di blocchi costruttivi e monomeri che può fornire. Questa

#### Il famoso GenX

Il GenX è usato da Chemours (in precedenza DuPont, in vari impianti, fra cui quello a Dordrecht in Olanda) come tensioattivo per produrre la polimerizzazione del PTFE. Il GenX ha sostituito il PFOA nel 2012 ed è stato successivamente sostituito (ma non ancora completamente) dal P1010, un tensioattivo privo di fluoro basato sul FeSO<sub>4</sub>, un tensioattivo non ionico (PPG) e uno a base di acidi grassi.

Il GenX è una sorta di "C6.5" ed è registrato a nome del suo sale di ammonio (EC 700-242-3). Il termine "tecnologia GenX" indica il GenX (in forma di acido libero e di sale di ammonio), nonché il prodotto volatile della degradazione, un etere fluorurato.



<sup>15</sup> Una volta ampiamente usato come tale nelle cromature o come derivato in molti diversi usi.

<sup>16</sup> Registrato come il suo sale di potassio (EC 249-616-3), come pure come bassi tonnellaggi di due sali di alchilammonio (alkylammonium salts) EC 700-536-1 e EC 444-440-5. C'è anche un acido sulfonico FTS, contato con gli FTSS (EC 248-850-6), vedi appendice 8.2

<sup>17</sup> Queste sostanze dimostrano le limitazioni di questo modello di classificazione. I composti EC 252-043-1 e EC 252-044-7 sono *alcoholfunctional C4-sulphonamides* che possono essere usati come monomeri, per esempio per produrre SCFP attraverso la polimerizzazione a condensazione, es. Poliuretani o *polyoxetanes*. C'è anche un monomero metacrilato (*methacrylate monomer*) basato su un *C4-sulphonamide* (EC 266-737-7), che è stato contatto (registrato) con i monomeri per gli SCFP, perché assolve a simili funzioni.

<sup>18</sup> [Z. Wang et al. \(2020\): Per- and polyfluoroalkyl ether substances: identity, production and use, Nordic Council of Ministers.](#)

<sup>19</sup> Strettamente parlando, due di queste sostanze (EC 807-113-1 and 246-791-8) non sono FTS, ma sono tuttavia probabili componenti per i SCFP o i PFAE (polieteri).

versatilità, insieme ad un piccolo sotterfugio metabolico (vedi paragrafo 6.3), è la chiave del successo e della pervasività di questo tipo di composto.

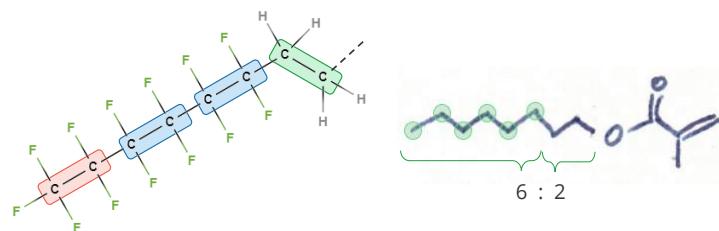
Queste sostanze fluorotelomeri (FT) sono la base per la maggior parte dei prodotti idrorepellenti, oleorepellenti e antimacchia, come pure delle schiume antincendio. Cosa sono?

## 6. Sostanze Fluorotelomeri: buono a sapersi

### 6.1. Un po' di fluorochimica

I PFAS possono esser prodotti sia per elettrofluorazione o per reazione di telomerizzazione (vedi inserto), che produce le sostanze fluorotelomeri. Esse non sono *perfluorurate* (cioè completamente fluorurate), in quanto nella maggior parte dei casi due atomi di carbonio si legano ad atomi di idrogeno (Figura 9). Questa struttura può essere completata con un ossigeno, con un solfuro o, meno comunemente, un atomo di carbonio, il che conduce a infinite possibilità di aggiungere altre funzionalità ai fluorotelomeri.

Figura 9: struttura di fluorotelomero tipico (6:2) (a sinistra) e monomero derivato da fluorotelomero per SCFP (destra)



### 6.2. Esempi di FT

I FT registrati nel REACH (elenco dettagliato negli allegati 8.1 e 8.2) comprendono la maggior parte delle applicazioni più comuni elencate nel paragrafo 5.3. La situazione è sorprendentemente coerente: le varie sostanze possono essere associate ad una specifica applicazione e nessuna delle principali applicazioni rimane senza una attribuzione<sup>20</sup>.

### 6.3. La storia del cuculo

L'unità fluorotelomero 6:2 è subdola quando raggiunge l'ambiente (Figura 10): la parte non fluorurata "2" dell'unità 6:2 può essere degradata per via biotica microbica o abiotica nell'ambiente, generando il PFHxA<sup>21</sup>.

Dal momento che il PFHxA è esso stesso un PFAS (e non è assolutamente soggetto a degradazione), analisi di suoli e acque che lo rintracciano potrebbero imputare la sua presenza alle emissioni di PFHxA stesso, mentre dalle considerazioni fatte sui volumi è molto più probabile che esso sia

#### Telomerizzazione

La tecnica usata, per esempio, da Chemours: pezzi di estensione (le unità blu in Figura 9, a sinistra) vengono aggiunte ad un iniziatore (rosso) e la sostanza è completata con un componente non fluorurato (verde). Le impurità possono avere uno o tre pezzi di estensione, per es. 4:2 o 8:2. Unità di numero dispari sono possibili, ma rare. Esiste la possibilità - indesiderabile - che si verifichi una sostituzione con 5:3 o 7:2.

#### Elettrofluorazione

La precedente tecnica era usata, per esempio, nell'impianto 3M di Zwijndrecht, Belgio: una sostanza "normale" reagisce in bagno elettrolitico con acido fluoridrico (HF) e viene trasformata in sostanza fluorurata.

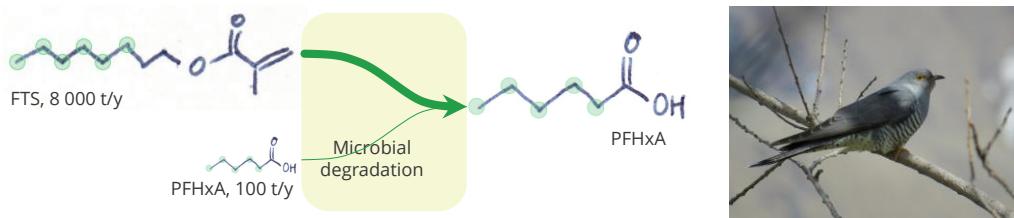
Eventuali impurità sono dovute a reazione incompleta, a impurità presenti nel materiale di partenza o dalla rottura e diramazione della catena.

<sup>20</sup> Una ricerca specifica su queste attribuzioni le ha confermate. Queste e ulteriori informazioni possono essere fornite - su richiesta - dall'autore.

<sup>21</sup> A prima vista questo meccanismo sembra implausibile, dal momento che presuppone la rottura di due legami C-F, di per sé molto forti. Tuttavia, accade proprio così, come viene descritto in modo convincente da [M.J.A. Dinglasan et al., Environ. Sci. Technol. 2004, 38\(10\), 2857](#).

originato da FT 6:2. Può essere utile pensare all'FT come a un cuculo che depone le uova nel nido di un altro uccello (il PFHxA).

Figura 10: destino ambientale di FT 6:2 e PFHxA (a sinistra) e analogia ecologica suggerita (a destra).



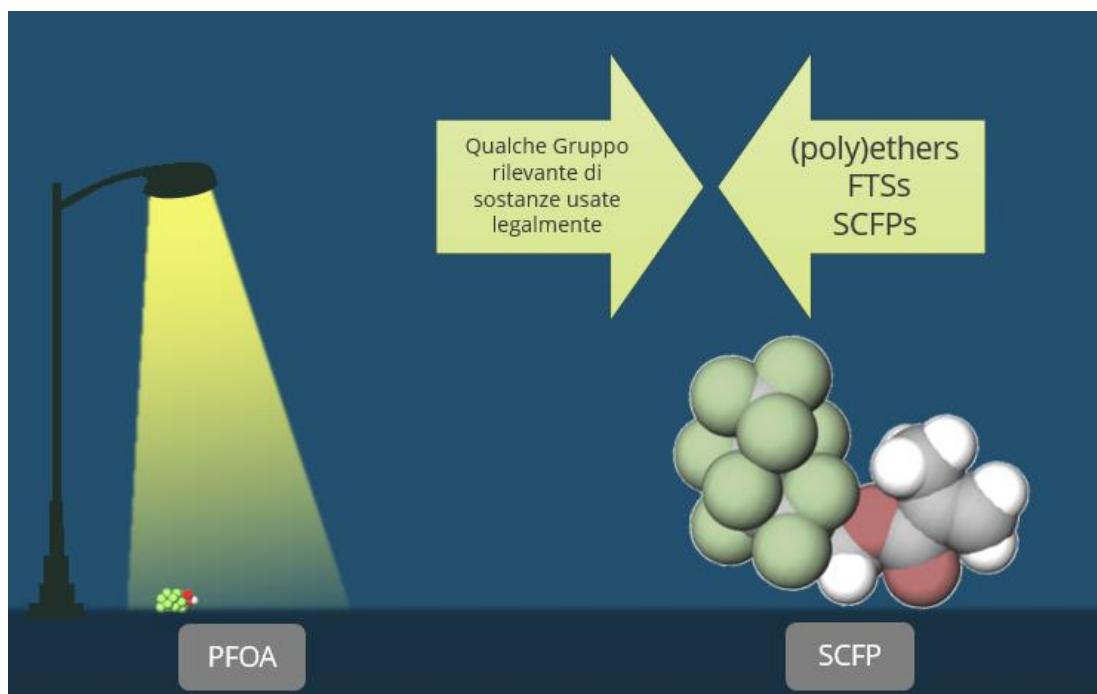
## 7. Lezioni da imparare

### 7.1. Conclusioni specifiche per gli FT

- C'è un piccolo gruppo di FT importanti (vedi anche paragrafo 8). Da loro si possono ottenere molteplici SCFP, che sono però piuttosto simili tra loro.
- Gli FT hanno diverse applicazioni, di cui molte possono portare ad alte emissioni con l'uso.
- Potrebbero passare inosservati a causa dei loro prodotti di degradazione.

### 7.2. Conclusioni generali

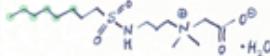
La dissonanza della Figura 2 (vedi paragrafo 3.1, ndt) può essere così risolta: notate come le frecce sono diventate verdi e puntano l'una verso l'altra. Anche il testo al loro interno è cambiato.



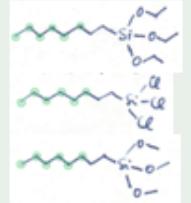
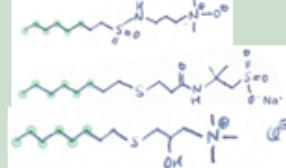
(Figura 11: conclusioni generali, come risolvere la dissonanza cognitiva, ndt).

## 8. Allegati

### 8.1. FT registrati con tonnellaggio 100-1000 ton/anno e usi conosciuti

Struttura	Funzione chimica	Uso	EC
	Methacrylate	in polimeri per impregnazione e laminazione	218-407-9
	Acrylate	in polimeri per impregnazione e laminazione	241-527-8
	tensioattivo	Schiume anti-incendia	252-046-8

### 8.2. FT registrati con tonnellaggio 10-100 ton/anno e usi conosciuti

Struttura	Funzione chimica	Uso	EC
	Sulphonic acid	Cromatura (in sostituzione del PFOS)	248-580-6
	Silicone monomers	Gomme speciali Polimeri per impregnazione (restrizione nr. 73 del REACH)	257-473-3 278-947-6 288-657-1
	Surfactants	Schiume anti-incendio	279-481-6 811-522-0 811-523-6
	Semifluorinated alkane	Scioline	432-570-5

Un elenco delle sostanze registrate da 1-10 ton/anno può essere fornito - su richiesta - dall'autore. Tra gli altri, queste sostanze includono monomeri aggiuntivi (tioli e alcoli) che possono essere usati per produrre SCFP basati sul poliuretano piuttosto che sulla struttura chimica poli(meta)crilata.

## Contatto

Dr Jean-Luc Wietor

Senior Policy Officer

Chemicals and Sustainable Production

**European Environmental Bureau**

Tel: +32 2 274 1017

Email: [jean-luc.wietor@eeb.org](mailto:jean-luc.wietor@eeb.org)