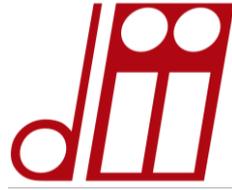


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

# PFAS

## PerFluorinated Alkylated Substances

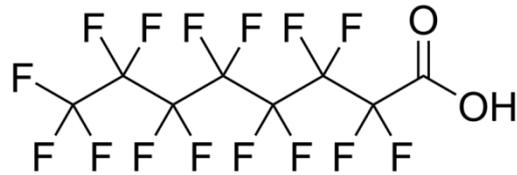
**Prof. Lino Conte, Ing. Alessandro Zaggia**

Laboratorio sulla Chimica del Fluoro  
Dipartimento di Ingegneria Industriale  
Università degli Studi di Padova, Via Marzolo 9  
35131 Padova, Italia  
Tel.: +39 0498272555  
email: [lino.conte@unipd.it](mailto:lino.conte@unipd.it) ,  
[alessandro.zaggia@unipd.it](mailto:alessandro.zaggia@unipd.it)

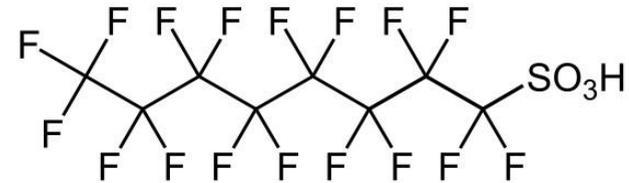
# PFAS

- PFAS è un acronimo inglese di **Per**Fluorinated **Alkylated** **S**ubstances ovvero sostanze che contengono almeno un atomo di carbonio completamente fluorurato.

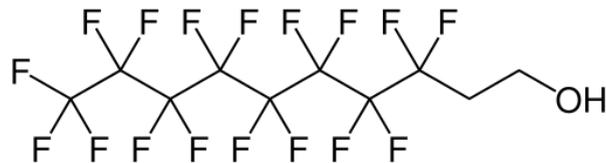
- Esempi dei PFAS più comuni:



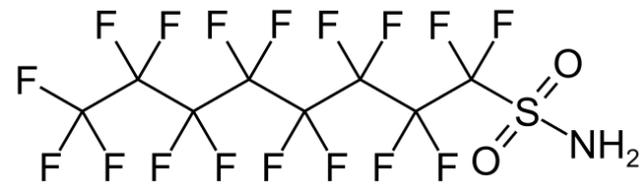
PFOA



PFOS



FTOH 8:2



PFOSA

# PFAS - produzione

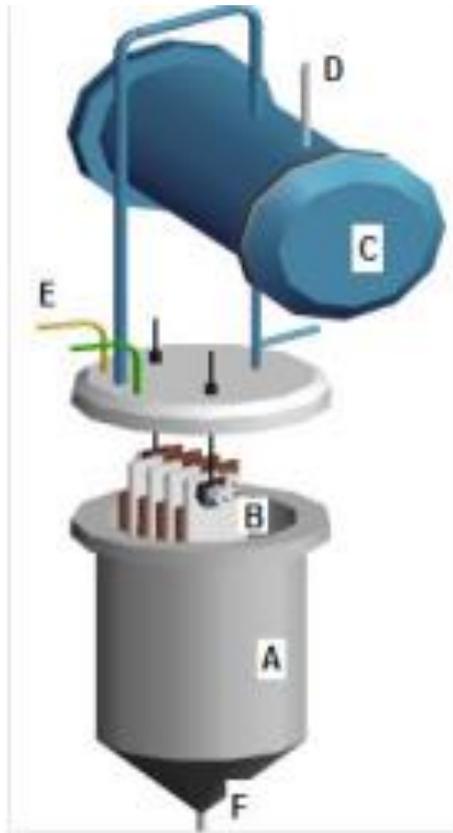
- Sostanze di sintesi con proprietà eccezionali: resistenza chimica, resistenza termica, bassissima tensione superficiale (proprietà anti-macchia) a partire da due processi alternativi:

**Elettrofluorurazione**

**Telomerizzazione**

# PFAS - produzione

## ● Elettrofluorurazione

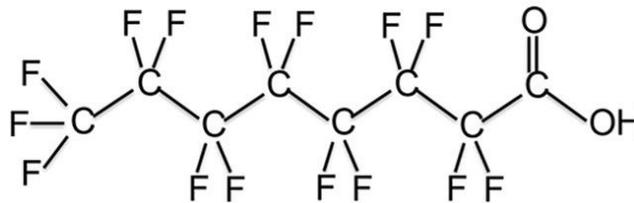


- A. Cella di elettrofluorurazione
- B. Pacco elettrodico
- C. Condensatore
- D. Sfiato incondensabili
- E. Alimentazione HF
- F. Scarico cella



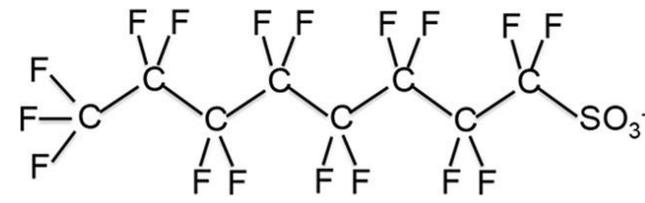
**In ECF si formano alte % isomeri ramificati**

**Linear PFOA**



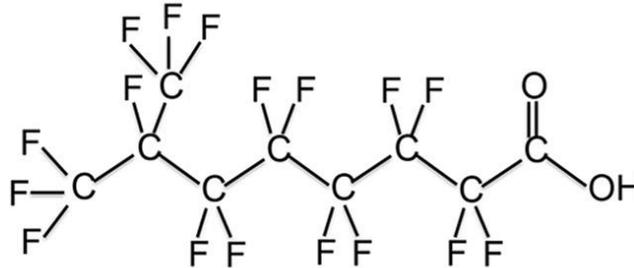
↑β-cell function, T-cho, alb, HDL  
↓glucose, HbA1C

**Linear PFOS**



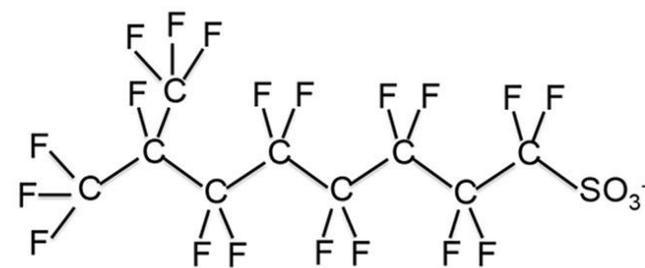
↑total protein, alb, HDL  
↓hypertriglyceridemia

**Branched PFOA**



↑β-cell function, T-cho, alb, HDL, fasting glucose  
↓HbA1C, HDL insufficiency, globulin

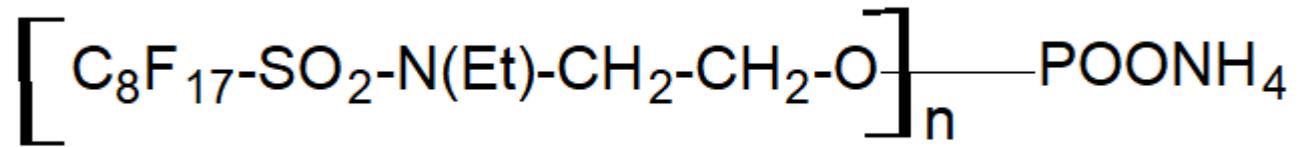
**Branched PFOS**



↑total protein, alb, β-cell function  
↓Hypertriglyceridemia, globulin

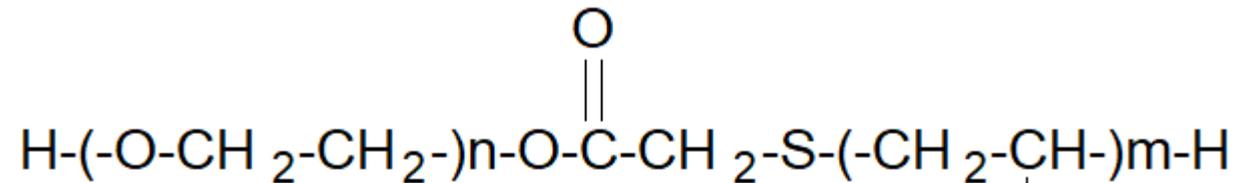


# PFAS – alcuni esempi di prodotti commerciali



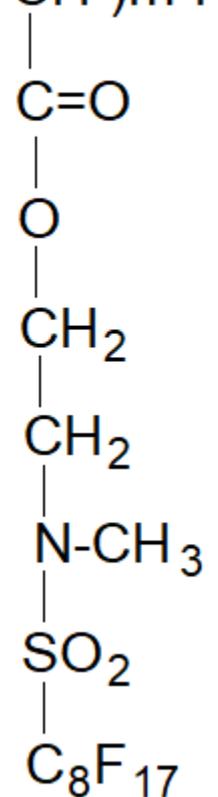
**3M**

**Scotchban<sup>®</sup>**  
**Scotchgard<sup>®</sup>**

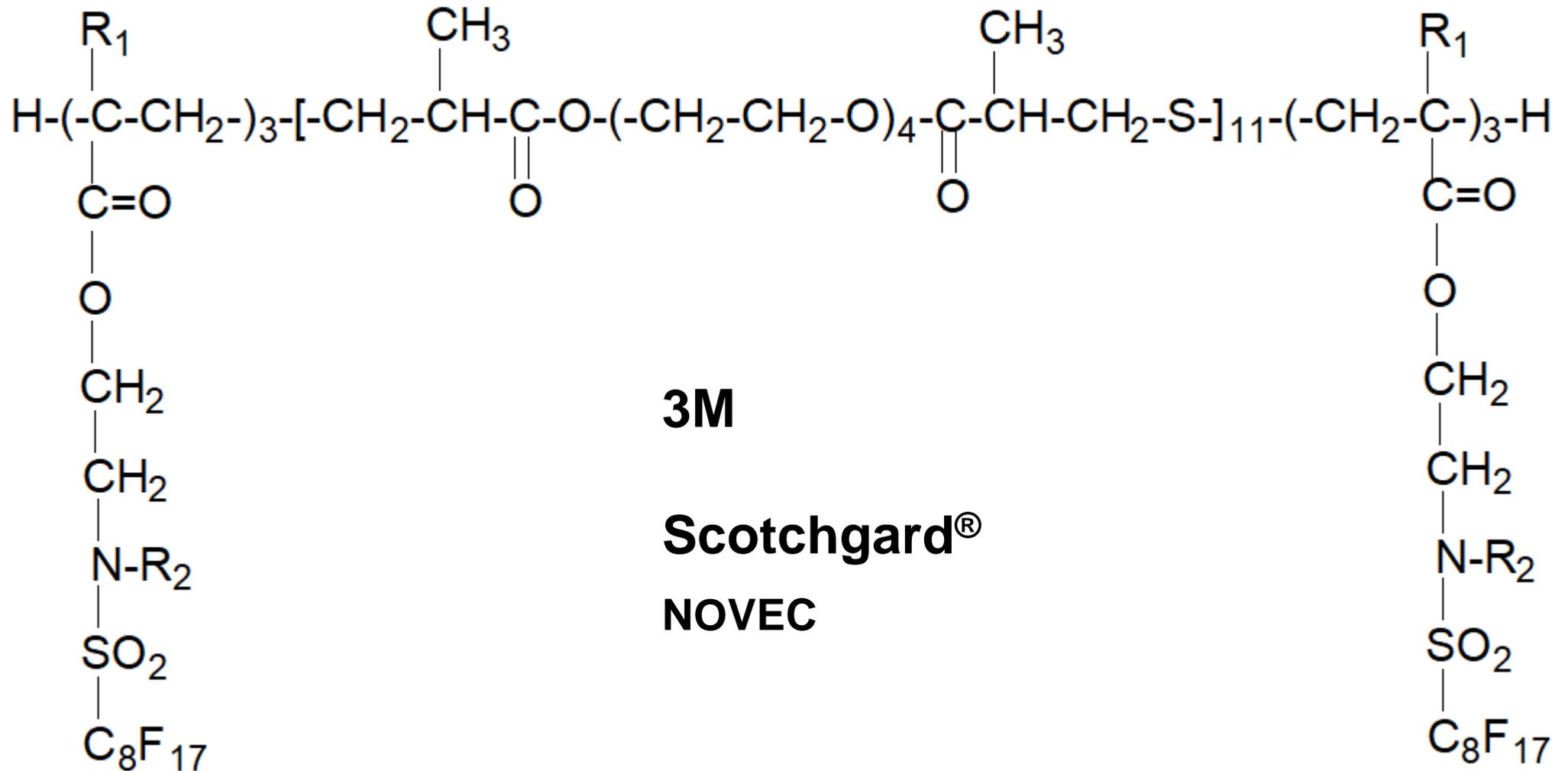


**DuPont**

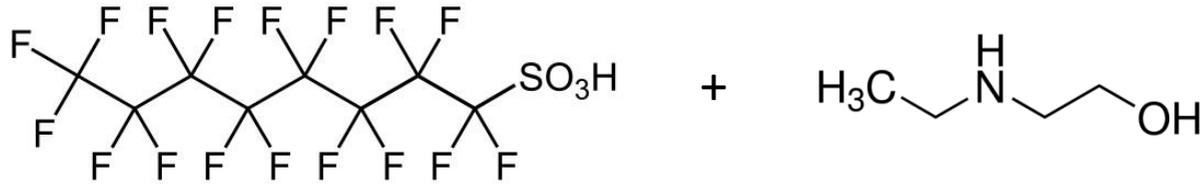
**Foraperle<sup>®</sup>**



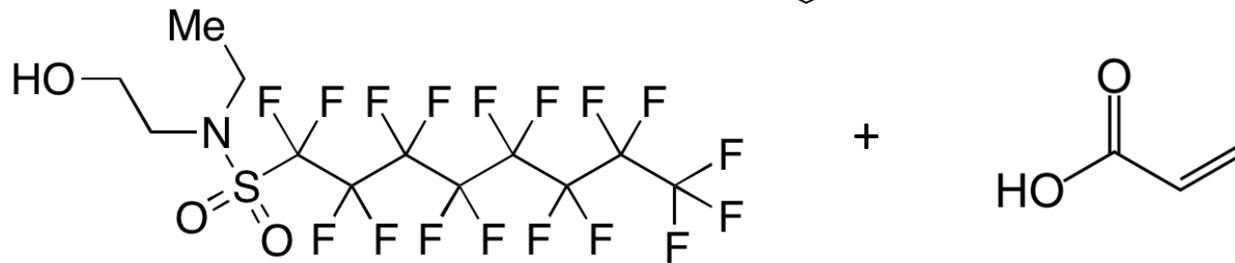
# PFAS – alcuni esempi di prodotti commerciali



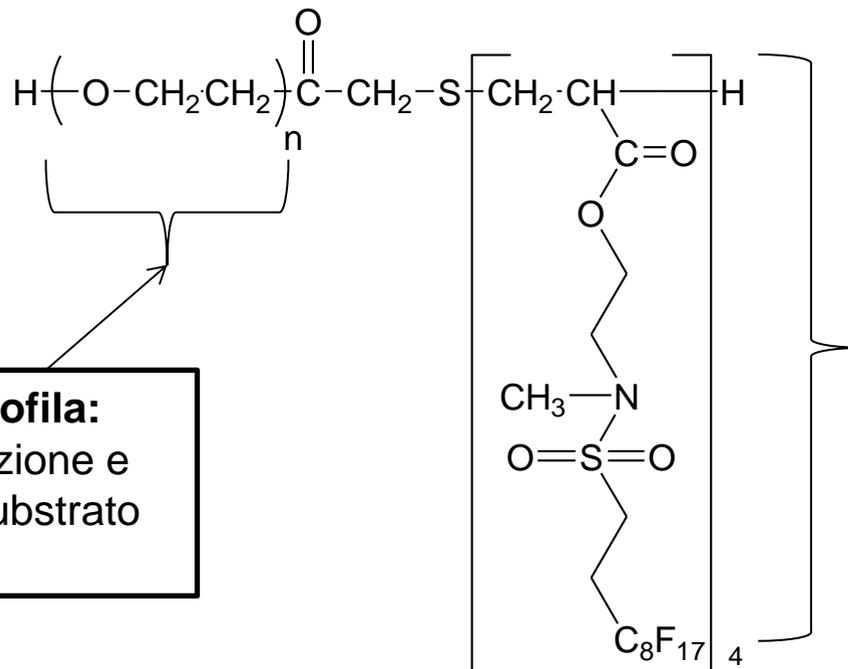
# Dai PFAS ai polimeri funzionali



**1° funzionalizzazione:**  
aggiunta dell'estensore di catena



**2° funzionalizzazione:**  
aggiunta del connettore



**Componente idrofila:**  
capacità di veicolazione e interazione con il substrato (aggancio)

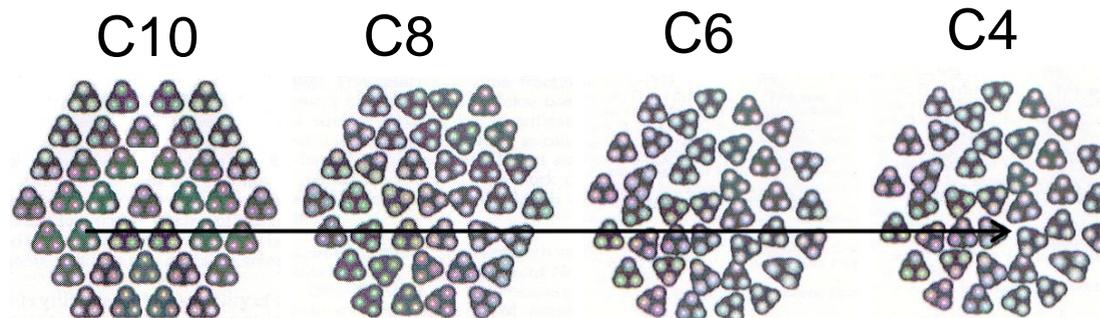
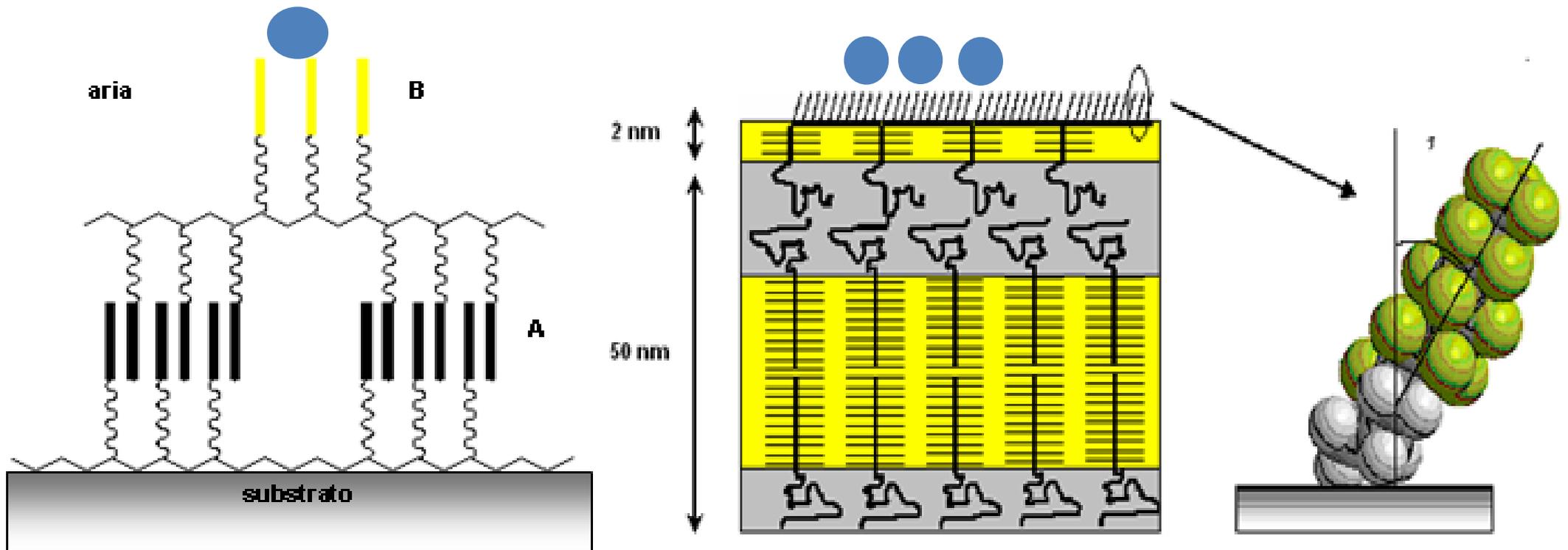
**Componente PFAS:** proprietà idro ed oleorepellente (antimacchia)

# PFAS - proprietà

- Inerzia chimica;
- Resistenza termica;
- Abbassamento della tensione superficiale;
- Simultanea idro e oleofobia (prerogativa dei soli composti fluorurati);
- Tendenza allo spandimento spontaneo;
- Ottime capacità emulsionanti;
- Proprietà cristallo liquide delle catene fluorurate e proprietà di self-assembling molecolare

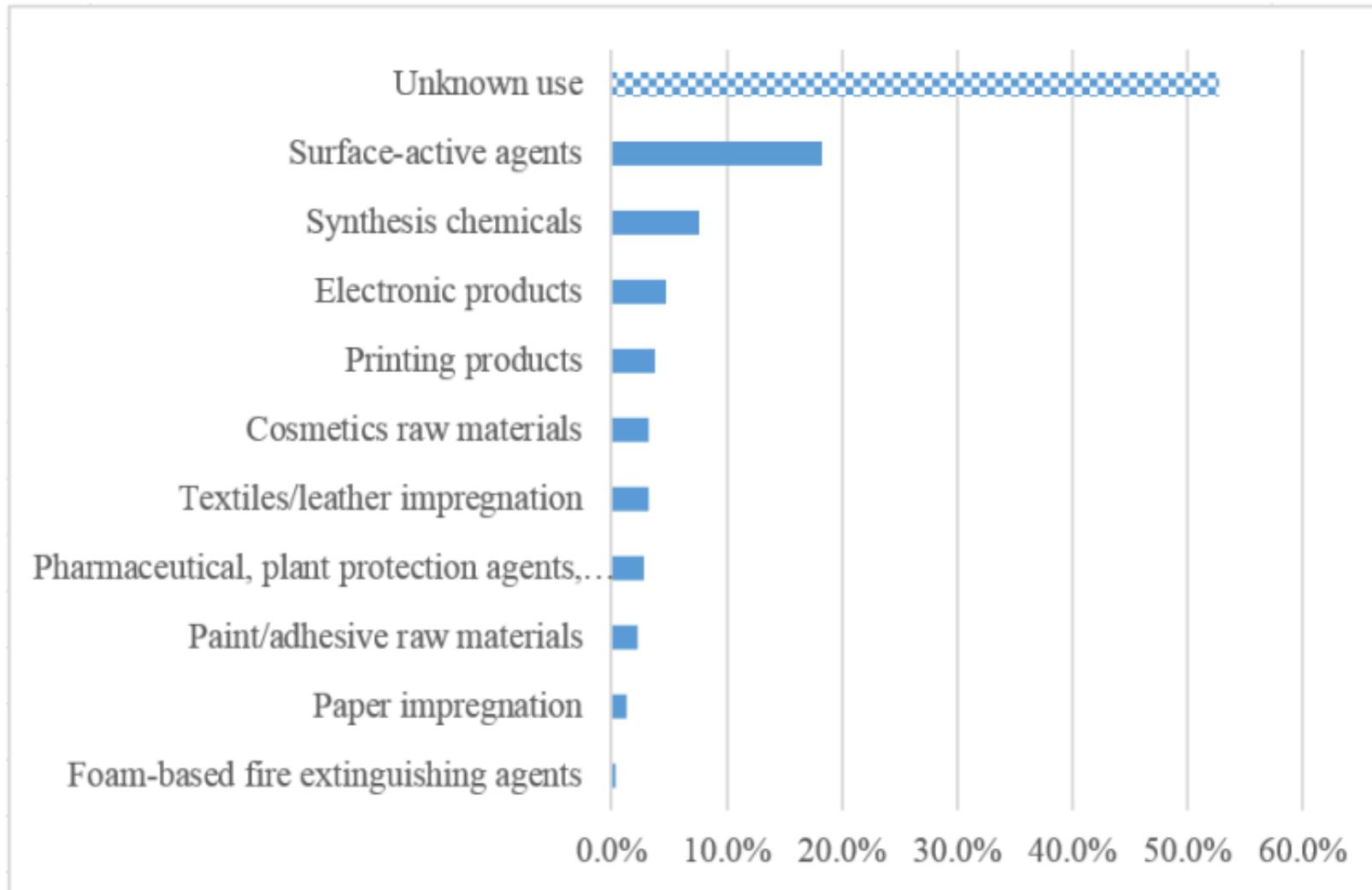
# PFAS - proprietà

Proprietà cristallo liquide delle catene fluorurate e proprietà di self-assembling molecolare – pettine molecolare – effetto barriera.





# PFAS - Applicazioni



Distribuzione degli utilizzi per tipologia (Fonte KEMI Swedish Chemical Agency, Occurrence and Use of highly fluorinated substances and alternatives, Report 7/15, Stoccolma 2015).

# PFAS - Applicazioni

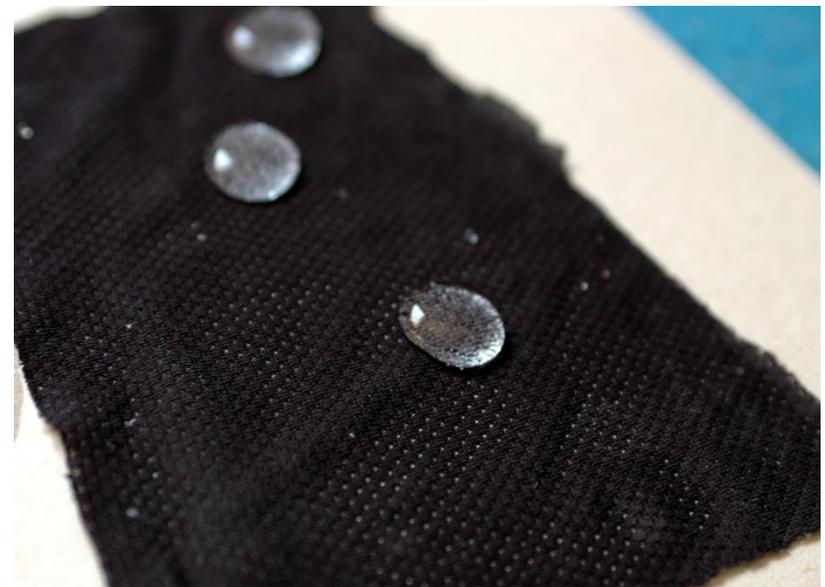
Use	Volume (tonnes/ year) (PFOA or PFOA-related substances)
Use of side-chain fluorinated polymers (imported articles)	1 000 - 10 000
Service-life of imported textiles	1 000 - 10 000 (not bound to polymer $\leq 200$ )
Use of fire-fighting foams	<95.5
Fluoropolymer production	20
Use of paints and inks	50 - 100
Manufacture of PFOA-related substances	100 - 1 000
Processing of fluoropolymer dispersions	10
Textile treatment in the EU	20 (not bound to polymer; 2% of total amount)
Formulation of fire-fighting foams	50 - 100
Production of paints and inks	50 - 100
Paper-coating and service-life of paper	300 - 400
Manufacture and use of photographic material (PFOA and PFOA-related substances)	>0.3
Use of PFOA in semiconductor industry and service-life of semi-conductors	<u>&lt;0.1</u>

Distribuzione degli usi ed indicazione di alcune sostanze riconducibili alla struttura dei PFAS.

Fluoro group	Number of substances
fluorinated (meth)acrylate polymers	234
N-alkyl perfluoroalkyl sulfonamides	226
poly/perfluorinated polymers	173
poly/perfluorinated phosphoorganics	143
polytetrafluoroethylene (PTFE)	137
poly/perfluorinated alkanes/alkenes	120
poly/perfluorinated sulfonic/sulfinic acids	93
poly/perfluorinated carboxylic acids	93
other poly/perfluorinated organics	90
poly/perfluorinated ethers	80
poly/perfluorinated esters	69
poly/perfluorinated alkanoyl/sulfonyl chloride or fluorides	68
poly/perfluorinated iodides	64
poly/perfluorinated (meth)acrylates	58
poly/perfluorinated alcohols	56
poly/perfluorinated sulfonamides	52
poly/perfluorinated siloxanes/silicones/silanes/silicates	50
poly/perfluorinated thiols	45
poly/perfluorinated copolymers	35
fluorinated urethanes polymers	33
poly/perfluorinated amines	34
polyfluoro siloxane and silicone polymers	29
poly/perfluorinated ammonium organics	21
poly/perfluorinated naphthalenes	16
poly/perfluorinated oxiranes	14
poly/perfluorinated ethoxylates	8
fluorinated oxetane polymers	8
poly/perfluorinated iodides	4
poly/perfluorinated urethanes	3
perfluoroalkyl sulfonamides	2
polyvinylidene fluoride (PVDF)	2
<b>Total number</b>	<b>2060</b>

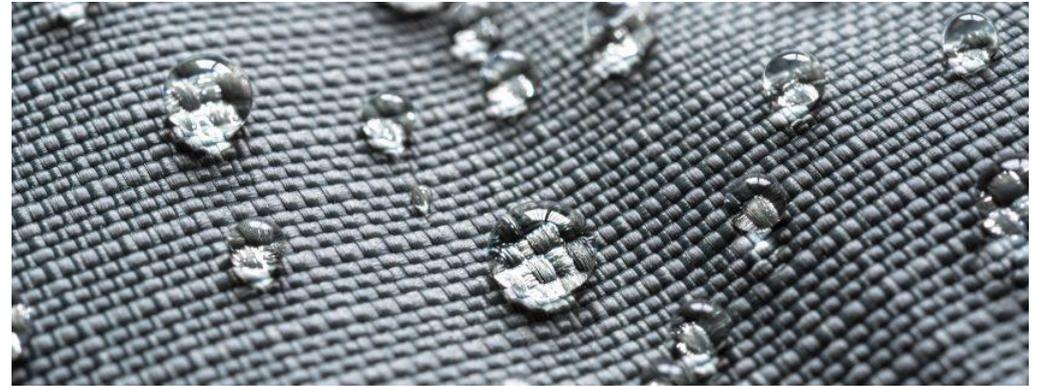
# PFAS – Agenti idrofobizzanti

- Nell'industria tessile e conciaria richiesta di finiture impermeabilizzanti.
- Storicamente utilizzati polimeri funzionalizzati con PFOS, PFOA.
- Attualmente sostituito con PFBS, PFBA.



# PFAS – Applications (Hydrophobic and oleophobic treatments (1))

- In textile and leather industry need for anti-stain properties



# PFAS – Schiume antincendio

- Necessità di schiume di elevata «mobilità».
- Schiume resistenti all'alcol e agli idrocarburi.
- Applicazioni estreme: grandi incendi, aerei, petroliere, piattaforme.



# PFAS – Applications (Hydrophobic and oleophobic treatments (2))

- Surface protection:

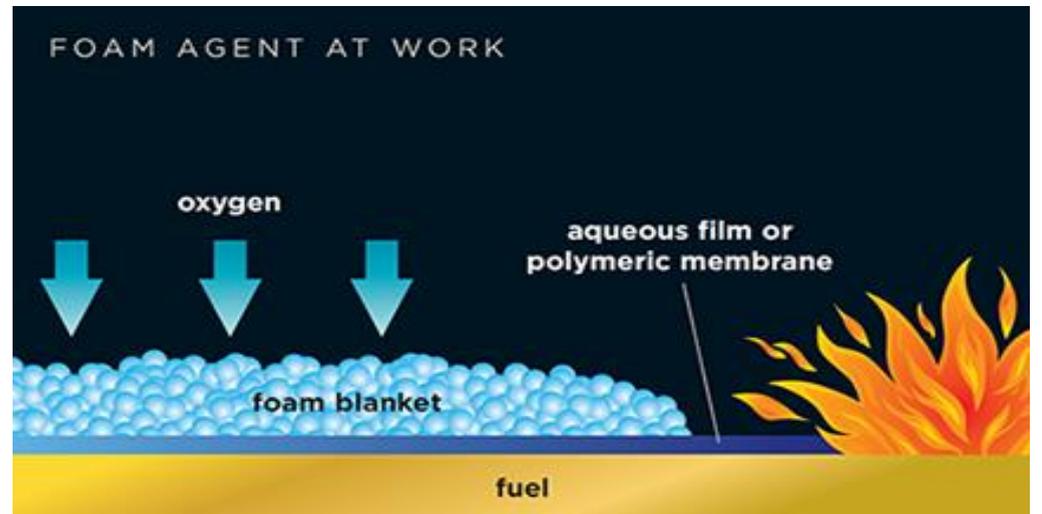


- Food packaging:



# PFAS – Applications (Fire Fighting Foams (1))

- Fires in planes, airports, platforms, plants;
- Fire sources not accessible to firemans;
- Need for: self-spreading foams, resistant to both hydrocarbons and polar solvents.



# PFAS - Cosmetici

The screenshot shows the CosIng website interface. At the top, there is the European Commission logo and the word "GROWTH" in large letters, followed by the subtitle "Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs". Below this is a navigation breadcrumb: "European Commission > Growth > Sectors > Cosmetics > CosIng > Search > Simple search". A horizontal menu contains icons for social media (Twitter, Facebook, YouTube, RSS) and navigation buttons for "Single Market and Standards", "Industry", "Entrepreneurship and SMEs", "Access to finance for SMEs", and "Sectors".

The left sidebar is titled "CosIng" and contains a "Search" section with "Simple search" (highlighted) and "Advanced search". Below this is "Reference data" with links to "Regulations/Directives", "Annexes", "Functions", and "Abbreviations", and a "User manual" link. A "Cosmetics - links" section includes "News", "Events", "Contracts and grants", "Public consultations", and "Publications".

The main content area is titled "Simple Search". It contains the following text:  
"You can search for the name of a substance (displayed in small letters) as it is referred to in the Cosmetics Regulation/Directive or for the name of an INGREDIENT (displayed in CAPITAL LETTERS), listed in the Inventory for labelling purposes, or for the name of a FRAGRANCE also in the Inventory."  
"CosIng allows also users to search for relevant CAS and EC numbers."  
"The current data in the database can be found under the default status as "active", whereas historical data have the status "not active"."

The search form includes:  
- "Version" dropdown menu set to "EC Regulation".  
- "Name <sup>i</sup> or CAS/EC #" text input field.  
- "Scope" dropdown menu set to "All".  
- "Status" dropdown menu set to "Active".  
- A "Search" button.

Below the form, it says "or go to the:" followed by a list of links:  
• [Advanced search](#)  
• [Proposed updates for the Inventory](#)  
• CosIng's [Reference Data](#) (Regulations, Directives, Annexes, Functions, Abbreviations)

At the bottom, there is a link: [Please keep us informed of any problems or requests](#)

The bottom right corner features the "CosIng" logo with the text "COSMETIC INGREDIENTS & SUBSTANCES" below it.

# PFAS - Cosmetici

<http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/cosing/index.cfm?fuseaction=search.simple>

Legal notice | Cookies | Contact | Search | ENGLISH (en)

**GROWTH**  
Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs

European Commission > Growth > Sectors > Cosmetics > CosIng > Search > Simple search

Single Market and Standards | Industry | Entrepreneurship and SMEs | Access to finance for SMEs | Sectors

**CosIng**  
EC Regulation (v.2)

**Search Results**

Name or CAS/EC #  Version  Scope  Status

#	INCI Name/Substance Name	CAS No.	EC No.	Restriction/Annex/Ref #
1.	<a href="#">ACRYLATES/METHOXY PEG-23 METHACRYLATE/PERFLUOROOCXYL ETHYL ACRYLATE COPOLYMER</a>			
2.	<a href="#">ACRYLATES/PERFLUOROHEXYLETHYL METHACRYLATE COPOLYMER</a>	1557087-30-5		
3.	<a href="#">AMMONIUM C6-16 PERFLUOROALKYLETHYL PHOSPHATE</a>	65530-72-5 / 65530-71-4 / 65530-70-3		
4.	<a href="#">AMMONIUM C9-10 PERFLUOROALKYLSULFONATE</a>			
5.	<a href="#">AMMONIUM PERFLUOROHEXYL ETHYLPHOSPHATES</a>			
6.	<a href="#">AMP-C8-18 PERFLUOROALKYLETHYL PHOSPHATE</a>			
7.	<a href="#">BEHENYL METHACRYLATE/PERFLUOROOCXYLETHYL METHACRYLATE COPOLYMER</a>			
8.	<a href="#">BUTYL ACRYLATE/C6-14 PERFLUOROALKYLETHYL ACRYLATE/MERCAPTOPROPYL DIMETHICONE</a>			

Total: 86

**GROWTH**  
Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs

European Commission > Growth > Sectors > Cosmetics > CosIng > Search > Simple search

Single Market and Standards | Industry | Entrepreneurship and SMEs | Access to finance for SMEs | Sectors

**CosIng**  
EC Regulation (v.2)

**Search Results**

Name or CAS/EC #  Version  Scope  Status

#	INCI Name/Substance Name	CAS No.	EC No.	Restriction/Annex/Ref #
1.	<a href="#">ACRYLATES/METHOXY PEG-23 METHACRYLATE/PERFLUOROOCXYL ETHYL ACRYLATE COPOLYMER</a>			
2.	<a href="#">ACRYLATES/PERFLUOROHEXYLETHYL METHACRYLATE COPOLYMER</a>	1557087-30-5		
3.	<a href="#">AMMONIUM C6-16 PERFLUOROALKYLETHYL PHOSPHATE</a>	65530-72-5 / 65530-71-4 / 65530-70-3		
4.	<a href="#">AMMONIUM C9-10 PERFLUOROALKYLSULFONATE</a>			
5.	<a href="#">AMMONIUM PERFLUOROHEXYL ETHYLPHOSPHATES</a>			
6.	<a href="#">AMP-C8-18 PERFLUOROALKYLETHYL PHOSPHATE</a>			
7.	<a href="#">BEHENYL METHACRYLATE/PERFLUOROOCXYLETHYL METHACRYLATE COPOLYMER</a>			
8.	<a href="#">BUTYL ACRYLATE/C6-14 PERFLUOROALKYLETHYL ACRYLATE/MERCAPTOPROPYL DIMETHICONE COPOLYMER</a>			
9.	<a href="#">C20-28 ALKYL PERFLUORODICYLETHOXY DIMETHICONE</a>			
10.	<a href="#">C4-14 PERFLUOROALKYLETHOXY DIMETHICONE</a>			
11.	<a href="#">C4-18 PERFLUOROALKYLETHYL TRISOBUTYLOXYTETRAMINIUM CHLORIDE</a>	70983-60-7	275-091-5	
12.	<a href="#">C6-12 PERFLUOROALKYLETHANOL</a>			
13.	<a href="#">C6-14 PERFLUOROALKYLETHYL ACRYLATE/HEMA COPOLYMER</a>			
14.	<a href="#">C8-15 FLUOROALCOHOL PHOSPHATE</a>	223239-92-7		
15.	<a href="#">DEA-PERFLUOROHEXYL ETHYLPHOSPHATES</a>			
16.	<a href="#">DIETHYLAMINOETHYL METHACRYLATE/HEMA/PERFLUOROHEXYLETHYL METHACRYLATE CROSSPOLYMER</a>			
17.	<a href="#">DIMETHICONE/FLUOROALCOHOL DIMETHIC ACID</a>			
18.	<a href="#">ETHYL PERFLUOROBUTYL ETHER</a>	163702-05-4		
19.	<a href="#">ETHYL PERFLUOROSOBUTYL ETHER</a>	163702-06-5		
20.	<a href="#">ISODODECYL PERFLUORONONYLETHYL DIMER DILINOLEATE/SEITRATE</a>			
21.	<a href="#">ISOPROPYL TITANIUM TRISOSTEARATE/PERFLUOROOCXYL TRIETHOXYSILOXANE COPOLYMER</a>			
22.	<a href="#">METHYL PERFLUOROBUTYL ETHER</a>	163702-07-6		
23.	<a href="#">METHYL PERFLUOROSOBUTYL ETHER</a>	163702-08-7		
24.	<a href="#">PEG-10 ACRYLATE/PERFLUOROHEXYLETHYL ACRYLATE COPOLYMER</a>			
25.	<a href="#">PEG-12 DIMETHICONE/BIS-ISOBUTYL PEG-20 CROSSPOLYMER</a>			
26.	<a href="#">PERFLUORO DIMETHYLETHYLPENTANE</a>	502858-18-2	256-522-6	
27.	<a href="#">PERFLUORO T-BUTYL CYCLOHEXANE</a>	84808-64-0		
28.	<a href="#">PERFLUOROALKYLSILYL MICA</a>			
29.	<a href="#">PERFLUOROBUTYL CYCLOHEXANE</a>	374-60-7	206-777-4	
30.	<a href="#">PERFLUOROCARBONYL BROMIDE</a>	423-55-2	207-028-4	
31.	<a href="#">PERFLUOROCARBONYL TRIETHOXYSILETHYL METHICONE</a>			
32.	<a href="#">PERFLUOROCYCLOHEXYLMETHANOL</a>	28788-68-3		
33.	<a href="#">PERFLUOROCYCLOHEXYLMETHANOL</a>	306-94-5	206-192-4	
34.	<a href="#">PERFLUOROCYCLOHEXYLMETHANOL</a>	306-94-5	206-192-4	

84 composti contenenti PFAS utilizzati ed autorizzati in cosmetica

# PFAS - Detergenti

- Additivi per favorire la distensione delle cere
- Effetto perlante, idrorepellente ed antimacchia.

Scheda informativa in accordo col regolamento 648/2004/CE, articolo 9 paragrafo 3.

## Descrizione Prodotto e formato

### Società

15060 Borghetto Borbera (AL) Italia  
Tel. +39 0143 631.1

### Data d'Emissione



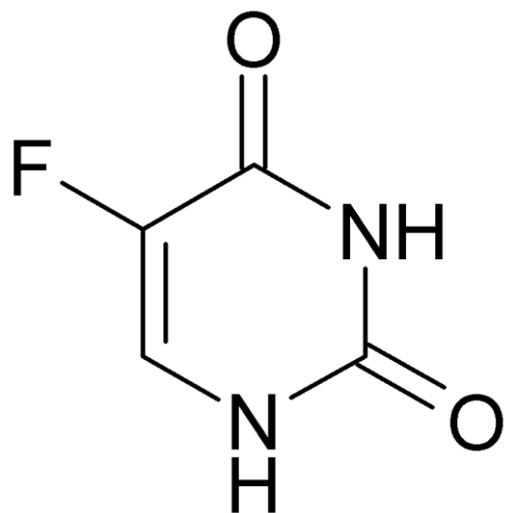
28/4/2016

## Elenco Ingredienti

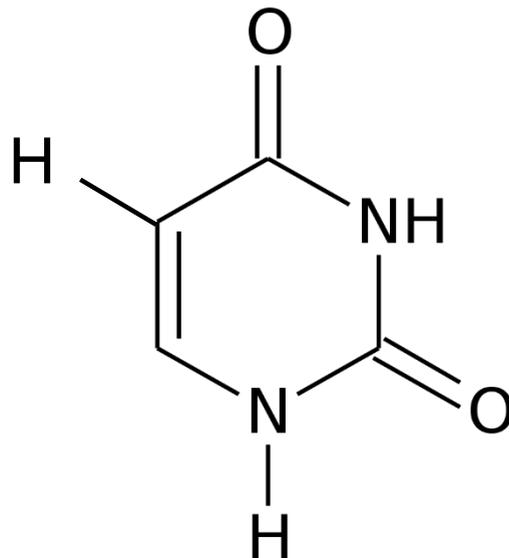
Elenco di tutti gli ingredienti (Reg. 648/2004/CE All. VII, D).

## Denominazione

ACQUA  
1-METOSSI-2-PROPANOLO  
EMULSIONE DI OLIO SILICONICO  
CERA CARNAUBA  
DIMETILSILOSSANO CON AMMINOETILAMMINOPROPILSILSESQUIOSSANO, IDROSSI- TERMINATI  
→ CERA SINTETICA OSSIDATA  
FLUOROPOLIMERO  
2-METILPROPAN-2-OLO  
ALCOL GRASSO ETOSSILATO  
ISOTRIDECANOL POLIGLICOL ETERI  
ALCOL GRASSO ETOSSILATO  
ESSENZE PROFUMATE R51/53  
2-AMINO-2-METILPROPANOLO  
N-(3-AMMINOPROPIL)-N-DODECILPROPAN-1,3-DIAMMINA  
BENZISOTHIAZOLINONE  
METHYLISOTHIAZOLINONE  
ESSENZE PROFUMATE R52/53  
2-METILAMINO-2-METIL-1-PROPANOLO

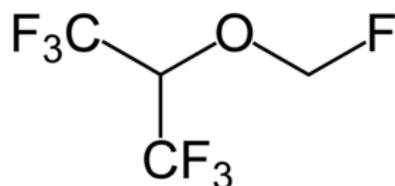


5-Fluoro Uracile

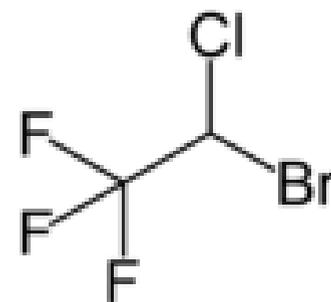


Uracile

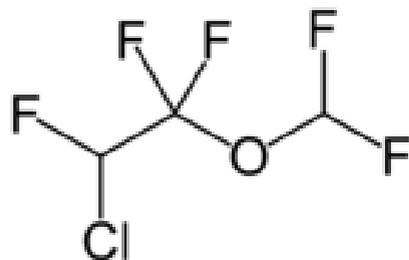
Sevoflurane



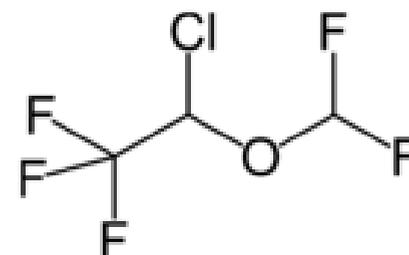
alotano

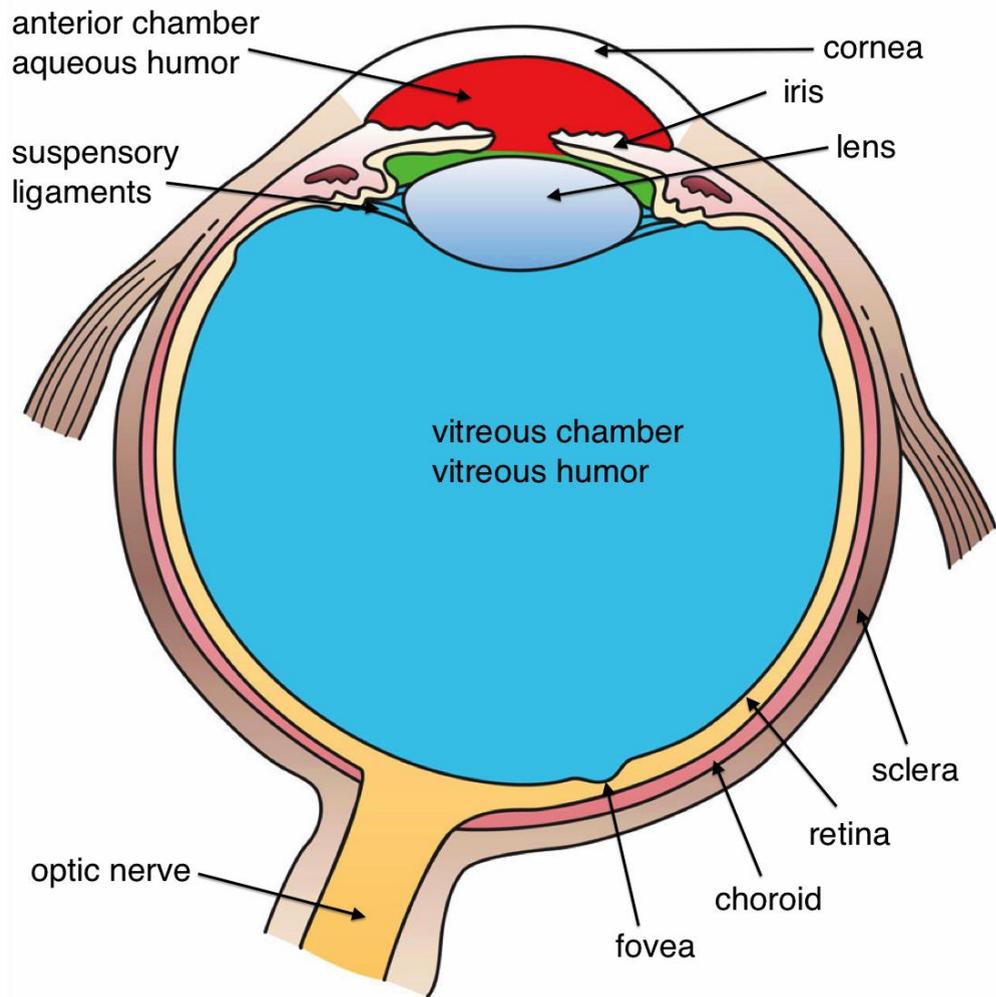


enflurano



isoflurano





# PFAS e precursori: contraddizioni?



Prodotti contenenti derivati del PFBA e PFBS derivati conformi a REACH, sicuri per operatori e consumatori, nessun obbligo di indicarli in SDS.

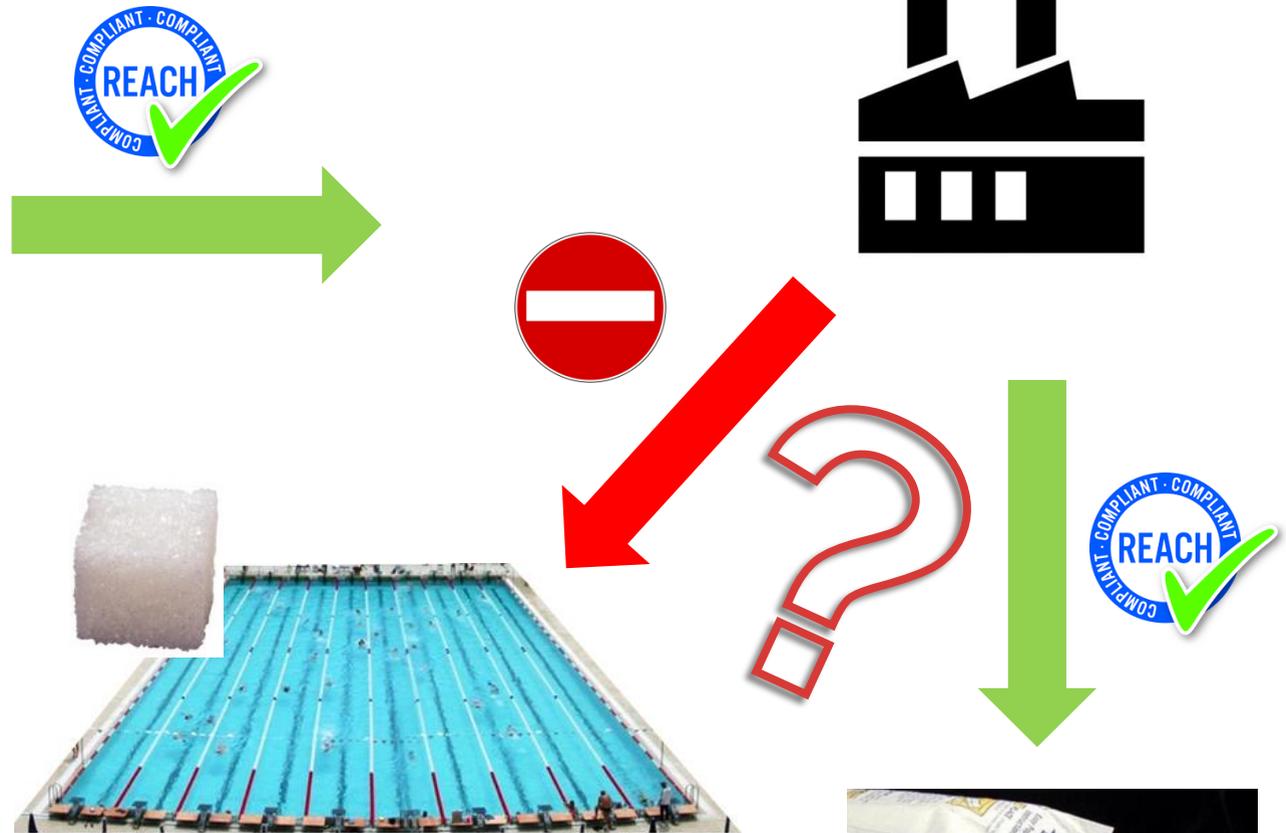
3M SCOTCHGARD™ Protettivo interni auto



Scheda di dati di sicurezza

### Sezione 3: Composizione/Informazioni sugli ingredienti

Ingrediente	Numero C.A.S.	No. CE	Registrazione REACH numero:	% in peso	Classificazione
Idrocarburi, C9-C10, n-alcani, isoalcani, ciclici, <2% aromatici		927-241-2	01-2119471843-32	25 - 35	Aquatic Chronic 3, H412 Flam. Liq. 3, H226; Asp. Tox. 1, H304; STOT SE 3, H336; EUH066
Butano	106-97-8	203-448-7	01-2119474691-32	10 - 30	Flam. Gas 1, H220; Liq. Gas, H280 - Nota C,U
Idrocarburi, C6-C7, n-alcani, isoalcani, ciclici, <5% n-esano		921-024-6	01-2119475514-35	< 25	Flam. Liq. 2, H225; Asp. Tox. 1, H304; Skin Irrit. 2, H315; STOT SE 3, H336; Aquatic Chronic 2, H411
Idrocarburi C4; gas di petrolio	87741-01-3	289-339-5	01-2119480480-41	7 - 13	Flam. Gas 1, H220; Gas compresso, H280 - Nota K,U
Acetato di n-butile	123-86-4	204-658-1	01-2119485493-29	4 - 10	Flam. Liq. 3, H226; STOT SE 3, H336; EUH066
Propano	74-98-6	200-827-9		1 - 5	Flam. Gas 1, H220; Liq. Gas, H280 - Nota U
Acetato di etile	141-78-6	205-500-4	01-2119475103-46	1 - 5	Flam. Liq. 2, H225; Eye Irrit. 2, H319; STOT SE 3, H336; EUH066



Allo scarico il PFBA è equiparato a PFOA (500 ng/l).



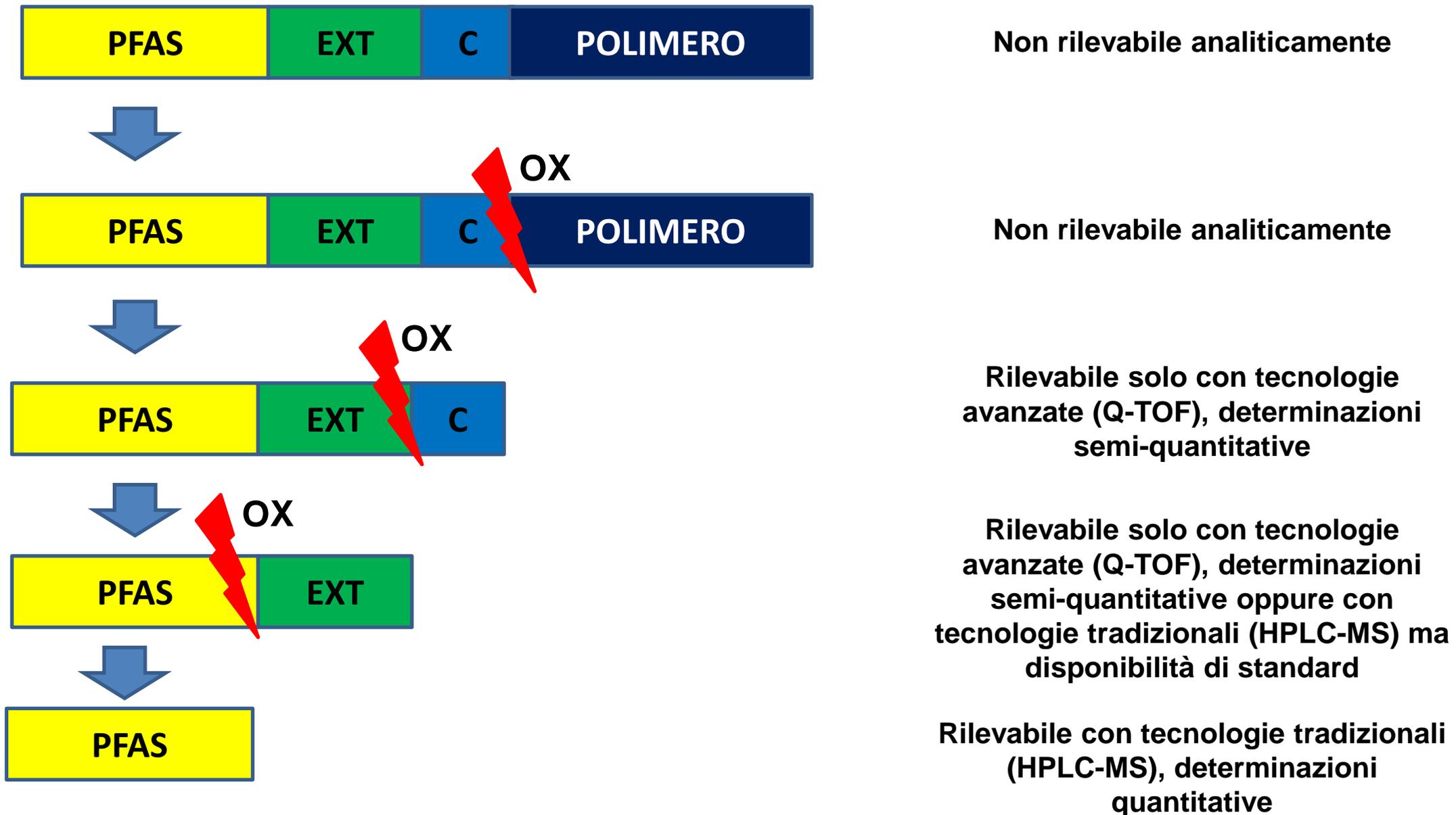
# PFAS e precursori: problemi analitici

## Carico totale: PFAS liberi e PFAS legati

- Carico totale di PFAS nelle acque = PFAS liberi + PFAS legati.
- I metodi analitici tradizionali (EPA, ASTM, ISO) consentono di rilevare solo la frazione libera.
- La frazione di PFAS legati non viene determinata.
- L'impatto dei PFAS legati varia al variare della tipologia di acqua (drinking, refluo, percolato).
- Il PFAS legati sono rilevabili sono dopo un'opportuno trattamento di "sblocco".
- Il metodo di "sblocco" modifica del CNR-IRSA 4060 (azoto+fosforo totale).
- Ossidazione a 120 °C in condizioni ossidanti tamponate.
- Scissione dei legami "labili" → "sblocco" dei PFAS.

# PFAS e precursori: problemi analitici

## Meccanismo di “sblocco” dei PFAS mediante trattamento ossidativo



# PFAS – Analisi e limiti analitici

## Differenza PFAS liberi – PFAS legati: acque potabili

PFAS		Tal quale ng/l	Ossidato ng/l
1	PFBA	100	209
2	PFPeA	55	72
3	PFBS	105	122
4	PFHxA	58	70
5	PFHpA	20	37
6	PFHxS	14	15
7	PFOA	315	291
8	PFNA	<10	<10
9	PFDeA	<10	<10
10	PFOS	38	20
11	PFUnA	<10	<10
12	PFDoA	<10	<10
13	Sommatoria PFAS	<b>703</b>	<b>836</b>

# PFAS – Analisi e limiti analitici

## Differenza PFAS liberi – PFAS legati: acque in uscita impianto di trattamento

PFAS		Tal quale ng/l	Ossidato ng/l
1	PFBA	52	150
2	PFPeA	17	81
3	PFBS	109	236
4	PFHxA	43	489
5	PFHpA	17	77
6	PFHxS	15	14
7	PFOA	139	163
8	PFNA	<10	<10
9	PFDeA	<10	<10
10	PFOS	9	10
11	PFUnA	<10	<10
12	PFDoA	<10	<10
13	Sommatoria PFAS	<b>401</b>	<b>1220</b>

# PFAS – Analisi e limiti analitici

## Differenza PFAS liberi – PFAS legati: percolato di discarica

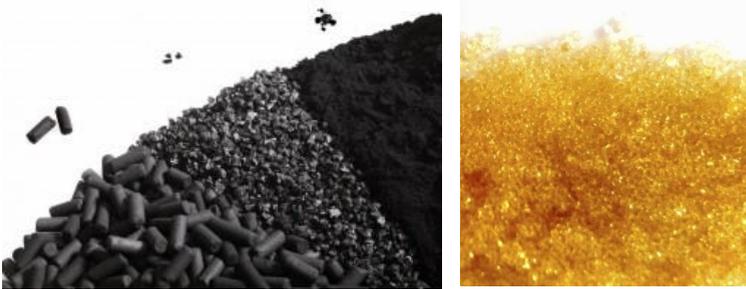
PFAS		Tal quale ng/l	Ossidato ng/l
1	PFBA	2510	6550
2	PFPeA	4660	14500
3	PFBS	<2500	4900
4	PFHxA	3050	7500
5	PFHpA	3250	8250
6	PFHxS	<1000	1950
7	PFOA	5810	9920
8	PFNA	3310	7350
9	PFDeA	35100	65230
10	PFOS	<1000	1840
11	PFUnA	6280	12500
12	PFDoA	<1000	2100
13	Sommatoria PFAS	<b>63970</b>	<b>142590</b>

# PFAS – Contraddizioni

- La regolamentazione sui prodotti chimici si concentra su PFOA, PFOS, PFHxS;
- Nessuna attenzione ad altri PFAS (catena corta <C5);
- Miscele non pericolose contenenti polimeri non pericolosi con PFAS a catena corta non regolamentati, non dichiarati in SDS;
- Il legislatore allo scarico equipara la pericolosità di catene lunghe e corte: PFOA e PFBA;
- Su catene lunghe è lecito avere informazioni in ingresso non altrettanto su catene corte;
- Tranne rare eccezioni i PFAS non sono utilizzati in quanto tali ma incorporati in polimeri;
- Nessuna tecnica analitica attuale è in grado di rilevare i PFAS in strutture polimeriche alle concentrazioni richieste dal legislatore;
- Degradazione progressiva dei polimeri lungo la filiera di trattamento (depuratori = produttori di PFAS!!!);
- Alternative???

# PFAS - Tecnologie di rimozione

## ADSORBIMENTO SCAMBIO IONICO



## SEGREGAZIONE



## CONCENTRAZIONE



## SEPARAZIONE A MEMBRANA



# PFAS – Tecnologie di rimozione

Fattori che influenzano la **sostenibilità** della scelta della tecnica di rimozione:

## 1) Caratteristiche dei PFAS da rimuovere:

- stato ionico multiplo dei PFAS (anionico, cationico, nonionico)
- isomerizzazione
- differenti gruppi funzionali
- mutazione dello stato dei PFAS (degradazione dei precursori)

## 2) Caratteristiche qualitative della matrice da trattare:

- presenza di contaminanti competitivi
- salinità dell'acqua
- variabilità della matrice

## 3) Caratteristiche quantitative:

- Volumi da trattare
- Costi di smaltimento in inceneritore (250-300 €/ton), saturazione delle quote disponibili, necessità di trasporto in inceneritori lontani (1,8-2 €/km)

# PFAS - Tecnologie di rimozione

Matrice	Caratteristiche qualitative	Caratteristiche quantitative	Caratteristiche PFAS
Acque potabili (rif. <b>potabili</b> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acque pulite</li> <li>• COD &lt;1 mg/l</li> <li>• Cond. &lt;2500 <math>\mu</math>S/cm</li> <li>• SST &lt;1 mg/l</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bassa &lt;50 l/s</li> <li>• Media 50-200 l/s</li> <li>• Alta &gt;200 l/s</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forma: libera, anionica, isomerica</li> <li>• Conc: &lt;1000 ng/l</li> </ul>
Acque reflue in uscita da trattamento (rif. <b>reflue</b> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acque mediamente sporche</li> <li>• COD &lt;160 mg/l</li> <li>• Cond. &lt;2500 <math>\mu</math>S/cm</li> <li>• SST &lt;80 mg/l</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bassa &lt;50 l/s</li> <li>• Media 50-300 l/s</li> <li>• Alta &gt;300 l/s</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forma: libera e legata (<math>\approx</math>30/70), anionica, cationica, nonionica, isomerica</li> <li>• Conc: 1000-5000 ng/l</li> </ul>
Acque di processo (rif. <b>processo</b> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acque molto sporche</li> <li>• COD 5000 - 10000 mg/l</li> <li>• Cond. 500-50000 <math>\mu</math>S/cm</li> <li>• SST 20 – 2000 mg/l</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bassa &lt;10 m<sup>3</sup>/h</li> <li>• Media 10 - 20 m<sup>3</sup>/h</li> <li>• Alta &gt;20 m<sup>3</sup>/h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forma: legata, anionica, cationica, nonionica, isomerica</li> <li>• Conc. 10 – 20000 ng/l</li> </ul>
Rifiuti liquidi (rif. <b>percolati</b> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acque molto sporche</li> <li>• COD 200 – 200000 mg/l</li> <li>• Cond. 5000 – 50000 <math>\mu</math>S/cm</li> <li>• SST 50 – 50000 mg/l</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bassa &lt;5 m<sup>3</sup>/h</li> <li>• Media 5 - 15 m<sup>3</sup>/h</li> <li>• Alta &gt;15 m<sup>3</sup>/h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forma: libera e legata (<math>\approx</math>30/70), anionica, cationica, nonionica, isomerica</li> <li>• Conc: 200-200000 ng/l</li> </ul>

# PFAS – Tecnologie di rimozione

- Stato dell'arte di impianti su scala reale: adsorbimento su carbone attivo per acque potabili.
- Pochissimi e parziali dati di letteratura sulle acque di scarico.
- Progetti pilota e test di laboratorio per: scambio ionico, tecnologia a membrane.
- Non esiste un approccio univoco per la rimozione dei PFAS (matrice, caratteristiche dei contaminanti).

Per ciascuna tecnologia esistente verranno presentati:

- *Descrizione*: tratti salienti del processo di trattamento
- *Applicabilità/Maturità*: livello di applicazione su scala reale
- *Efficacia*: capacità di rimozione del carico totale dei PFAS
- *Selettività*: capacità di trattenere selettivamente i PFAS
- *Pretrattamento*: livello di pretrattamento richiesto
- *Costi d'impianto*: stima di costo per impianto di medie potenzialità inclusi i pretrattamenti, esclusi i post-trattamenti
- *Costi di esercizio*: stima di costo di smaltimento reflui prodotti per impianto di medie potenzialità

# PFAS – Tecnologie di rimozione

## CARBONE ATTIVO GRANULARE

Descrizione trattamento	Letto di materiale granulare filtrante con elevata capacità adsorbente che trattiene in virtù di forze di interazione molecolare le sostanze organiche.			
	<b>Potabili</b>	<b>Reflue</b>	<b>Processo</b>	<b>Percolati</b>
Applicabilità/Maturità	Dimostrata	Parzialmente dimostrata	Potenziale	Potenziale
Efficacia su C4	Modesta	Modesta	Modesta	Modesta
Selettività su PFAS	Variabile	Scarsa	Scarsa	Scarsa
Pretrattamento	Modesto	Spinto	Molto spinto	Molto spinto
Costi				
Riferimento potenzialità	100 l/s	200 l/s	15 m <sup>3</sup> /h	10 m <sup>3</sup> /h
Impianto	150 k€	400 - 500 k€	35 – 45 k€	22 – 30 k€
Esercizio annui	160 -180 k€	5.5 – 6.5 M€	6 – 7 M€	4.5 – 5.5 M€
Costo esercizio m3				
<b>Valutazione globale</b>				

**Nota.** Stime di carattere qualitativo basate su costi di impianto di massima e su costi di esercizio relativi solo a costi di sostituzioni materiali filtranti.

# PFAS – Tecnologie di rimozione

## RESINE A SCAMBIO IONICO

Descrizione trattamento	Letto di materiale sintetico con elevata capacità di scambio che trattiene le sostanze ioniche.			
	<b>Potabili</b>	<b>Reflue</b>	<b>Processo</b>	<b>Percolati</b>
Applicabilità/Maturità	Parzialmente dimostrata	Sperimentale	Potenziale	Potenziale
Efficacia su C4	Apprezzabile	Apprezzabile	Apprezzabile	Apprezzabile
Selettività	Variabile	Scarsa	Scarsa	Scarsa
Pretrattamento	Modesto	Spinto	Molto spinto	Molto spinto
Costi				
Riferimento potenzialità	100 l/s	200 l/s	15 m <sup>3</sup> /h	10 m <sup>3</sup> /h
Impianto	150 k€	300 - 600 k€	30 – 50 k€	20 – 40 k€
Costi resine	180 -240 k€	3 – 12 M€	16 – 18 M€	8 – 10 M€
Costo esercizio m3				
<b>Valutazione globale</b>				

**Nota.** Stime di carattere qualitativo basate su costi di impianto di massima e su costi di esercizio relativi solo a costi di sostituzioni materiali filtranti.

# PFAS – Tecnologie di rimozione

## SEPARAZIONE A MEMBRANA – NANOFILTRAZIONE/OSMOSI INVERSA

Descrizione trattamento	Separazione mediante membrane semipermeabili di tutte le specie dissolte. Pressioni di lavoro crescenti in funzione della salinità			
	<b>Potabili</b>	<b>Reflue</b>	<b>Processo</b>	<b>Percolati</b>
Applicabilità/Maturità	Potenziale	Potenziale	Sperimentale	Sperimentale
Efficacia su C4	Totale	Totale	Totale	Totale
Selettività	Non applicabile	Non applicabile	Non applicabile	Non applicabile
Pretrattamento	Modesto	Molto spinto	Molto spinto	Molto spinto
Costi				
Riferimento potenzialità	100 l/s	200 l/s	15 m <sup>3</sup> /h	10 m <sup>3</sup> /h
Impianto	1 M€ - 1.5 M€	2.4 – 2.6 M€	250 – 270 k€	250 – 300 k€
Costi smaltimento	60 – 65 M€	120 – 150 M€	8 – 9 M€	6 – 7 M€
Costo esercizio m3				
<b>Valutazione globale</b>				

**Nota.** Stime di carattere qualitativo basate su costi di impianto di massima per impianti di pretrattamento ove richiesti e su costi di esercizio relativi solo a costi di smaltimento dei concentrati.

# PFAS – Tecnologie di rimozione

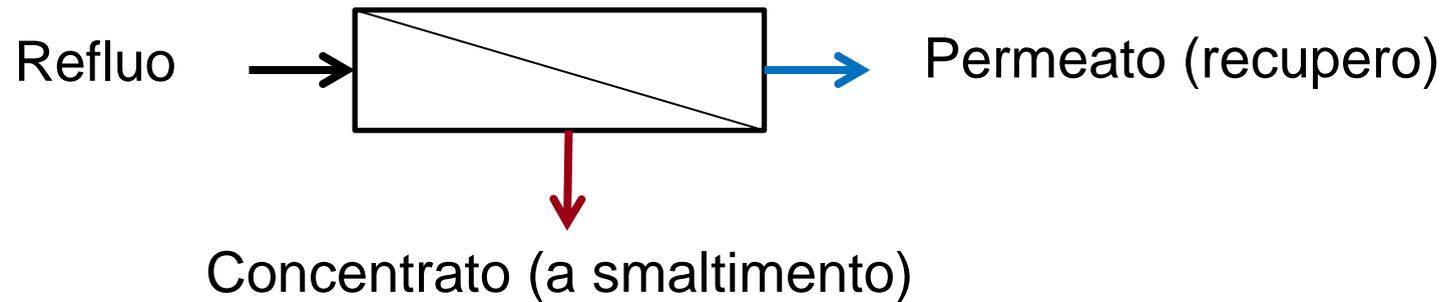
## CONCENTRAZIONE SOTTOVUOTO MULTIPLO EFFETTO

Descrizione trattamento	Separazione mediante distillazione dell'acqua in concentratori in cascata con recupero dei calori latenti in cascata (8-10 effetti)			
	<b>Potabili</b>	<b>Reflue</b>	<b>Processo</b>	<b>Percolati</b>
Applicabilità/Maturità	Potenziale	Potenziale	Sperimentale	Sperimentale
Efficacia su C4	Apprezzabile	Apprezzabile	Apprezzabile	Apprezzabile
Selettività	Non applicabile	Non applicabile	Non applicabile	Non applicabile
Pretrattamento	Assente	Modesto	Modesto	Modesto
Costi				
Riferimento potenzialità	100 l/s	200 l/s	15 m <sup>3</sup> /h	10 m <sup>3</sup> /h
Impianto	40-50 M€	80-100 M€	3-4 M€	2-3 M€
Costi smaltimento	19-20 M€	35-40 M€	750 – 800 k€	550 – 600 k€
Costo esercizio m3				
<b>Valutazione globale</b>				

**Nota.** Stime di carattere qualitativo basate su costi di impianto di massima e su costi di esercizio relativi solo a costi di smaltimento dei concentrati.

# PFAS – Tecnologie di rimozione

## CONCENTRAZIONE MEDIANTE OSMOSI INVERSA



**Bilancio idrico:** ~50-60% di recupero - ~40-50% a smaltimento

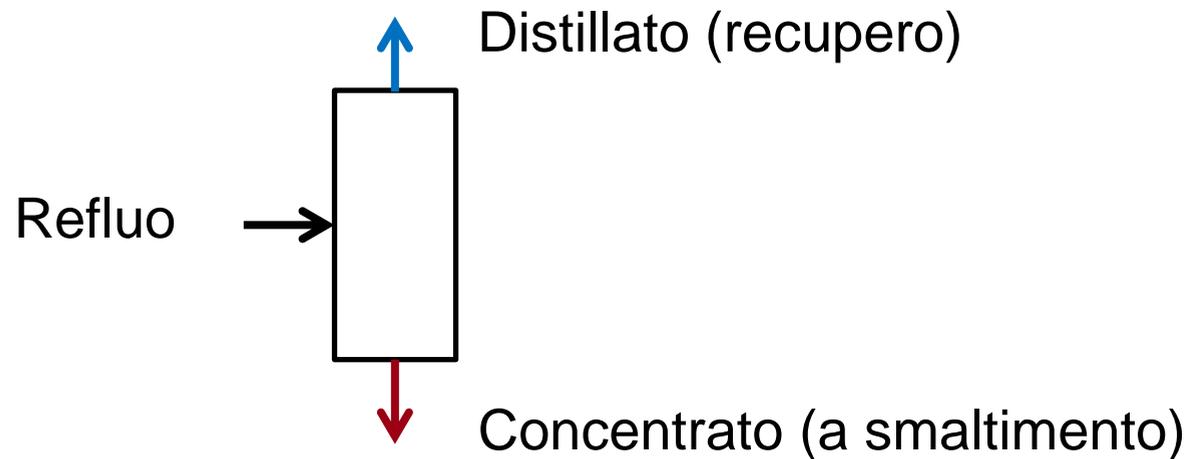
**Abbattimento PFAS:** ~90-95%

**Vantaggi:** contemporanea eliminazione di altri inquinanti.

**Svantaggi:** soluzione poco sostenibile economicamente (**smaltimento concentrati**).

# PFAS – Tecnologie di rimozione

## CONCENTRAZIONE MEDIANTE EVAPORAZIONE



**Bilancio idrico:** ~50-95% di recupero - ~5-50% a smaltimento

**Abbattimento PFAS:** ~70-80%

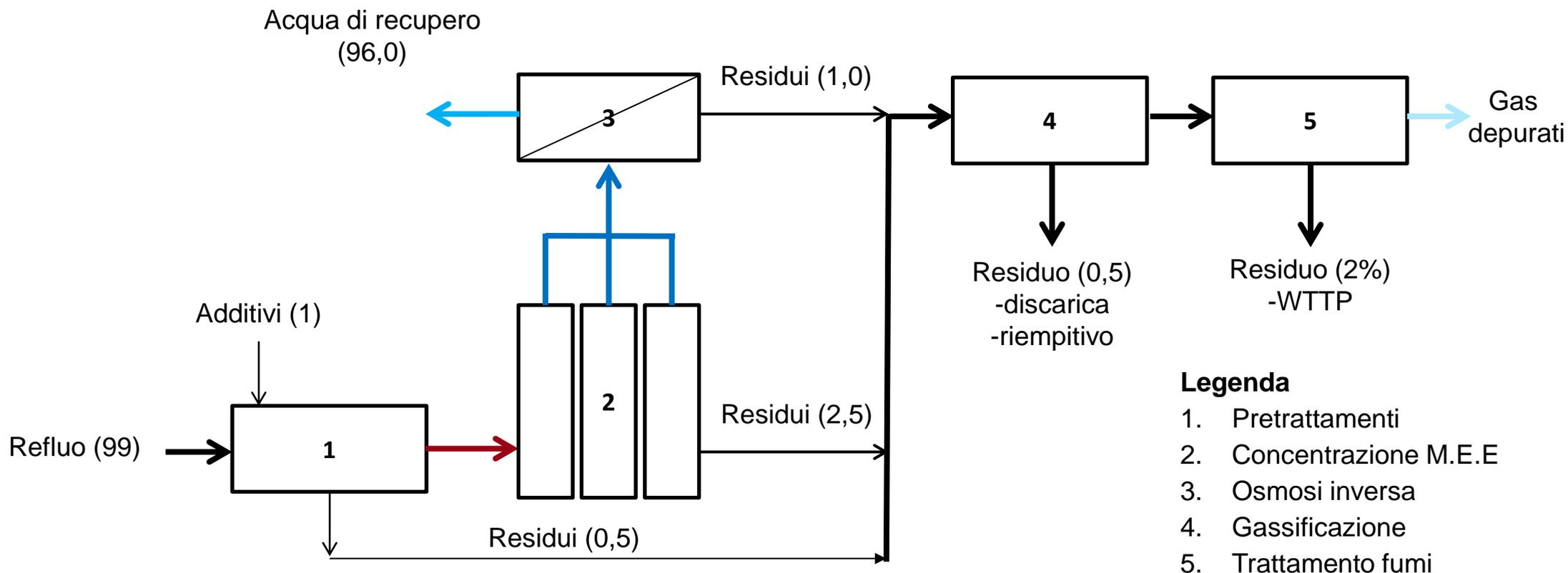
**Vantaggi:** contemporanea eliminazione di altri inquinanti; recupero idrico spinto (multiplo effetto), ridotto smaltimento di concentrati (multiplo effetto).

**Svantaggi:** trascinamenti di PFAS a basso peso molecolare e altri inquinanti volatili (es. ammoniaca, solventi).

# PFAS – Tecnologie di rimozione

## CONCENTRAZIONE M.E.E. (Multiple Effect Evaporation) E POLISHING IN OSMOSI INVERSA

DOMANDA DI BREVETTO SICIT – IMPIANTO CON GASSIFICAZIONE



**Bilancio idrico:** ~95-97% di recupero - ~3-5% a smaltimento

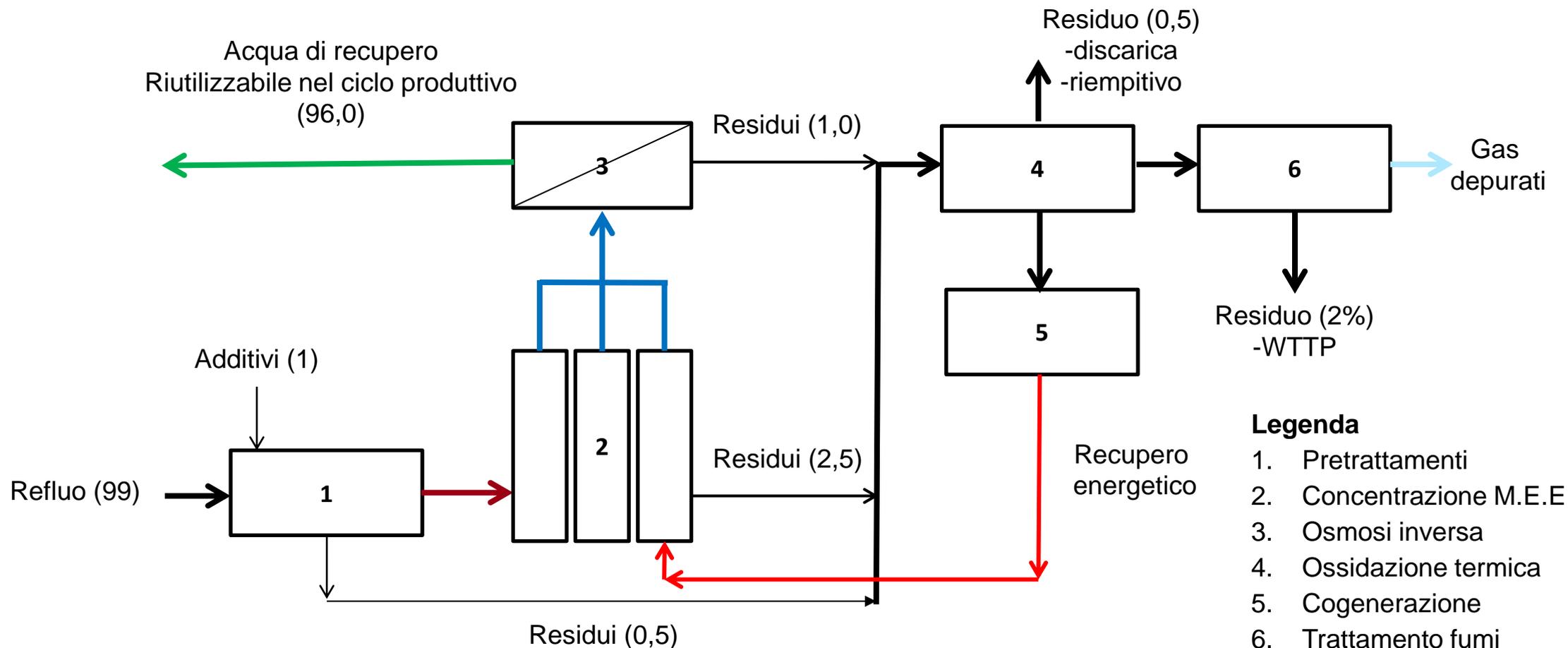
**Abbattimento PFAS:** ~97-99%

**Vantaggi:** contemporanea eliminazione di altri inquinanti; recupero idrico spinto, ridotto smaltimento di concentrati, soluzione economicamente sostenibile.

# PFAS – Tecnologie di rimozione

## CONCENTRAZIONE M.E.E. (Multiple Effect Evaporation) E POLISHING IN OSMOSI INVERSA

DOMANDA DI BREVETTO SICIT – IMPIANTO CON COGENERAZIONE



**Bilancio idrico:** ~95-97% di recupero - ~3-5% a smaltimento

**Abbattimento PFAS:** ~97-99%

**Vantaggi:** contemporanea eliminazione di altri inquinanti; recupero idrico spinto, ridotto smaltimento di concentrati, cogenerazione di energia e calore (teleriscaldamento), soluzione economicamente sostenibile.

# Alternative PFOA

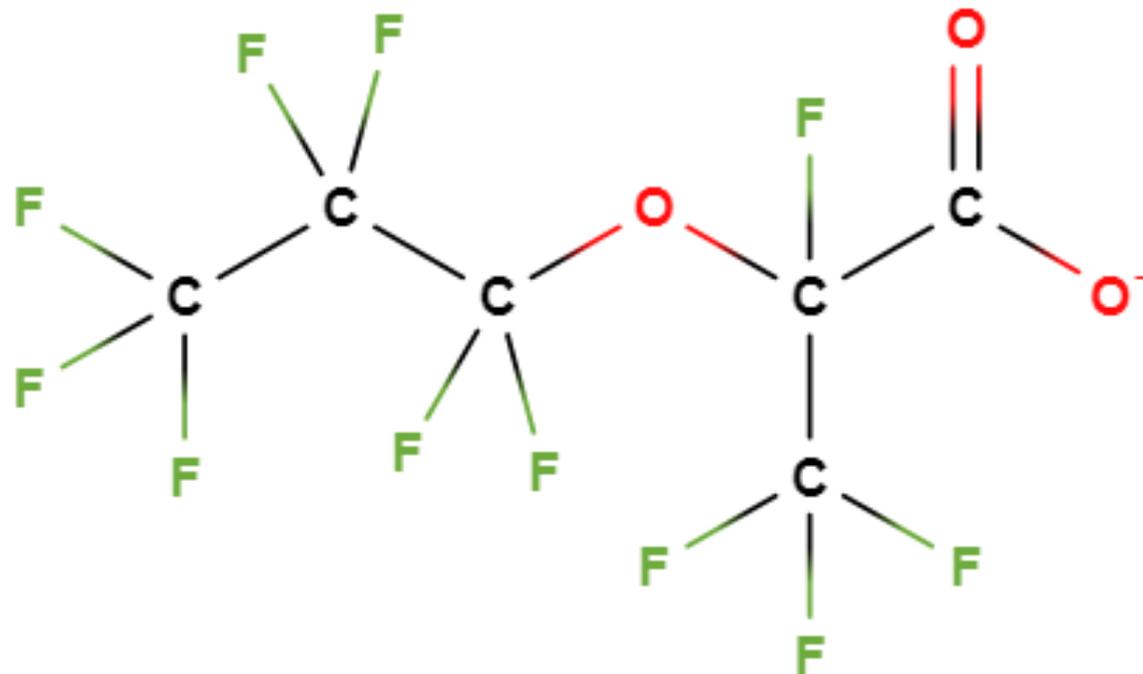
## Gen-X

Nome chimico Sale ammonico dell' acido 2,3,3,3-tetrafluoro-2-(eptaffluoropropionico)

Sinonimo FRD 903

CAS 13252-13-6

Struttura



Produttore Chemours (DuPont)

# Alternative PFOA

C6O4

Nome chimico

Sale ammonico dell'acido difluoro{[2,2,4,5- tetrafluoro-5-(trifluorometossi)-1,3-diossolan-4-yl]ossi}acetico

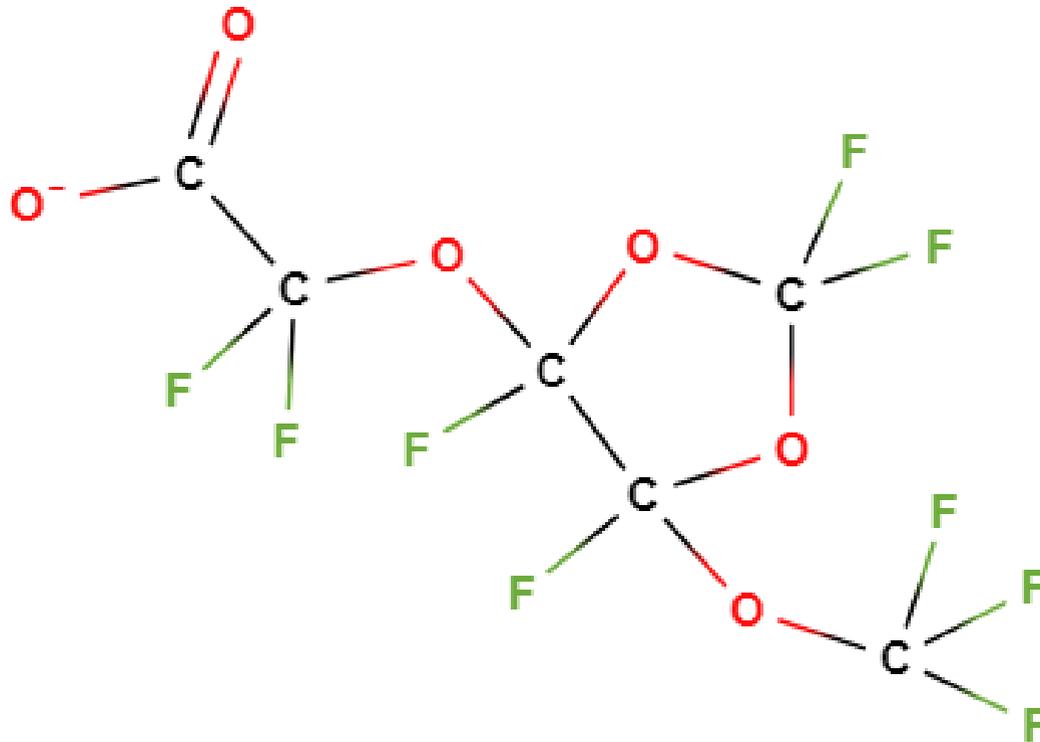
Sinonimo

F-DIOX

CAS

1190931-41-9

Struttura



Produttore

Miteni, Solvay-Solexis

# Alternative PFOA

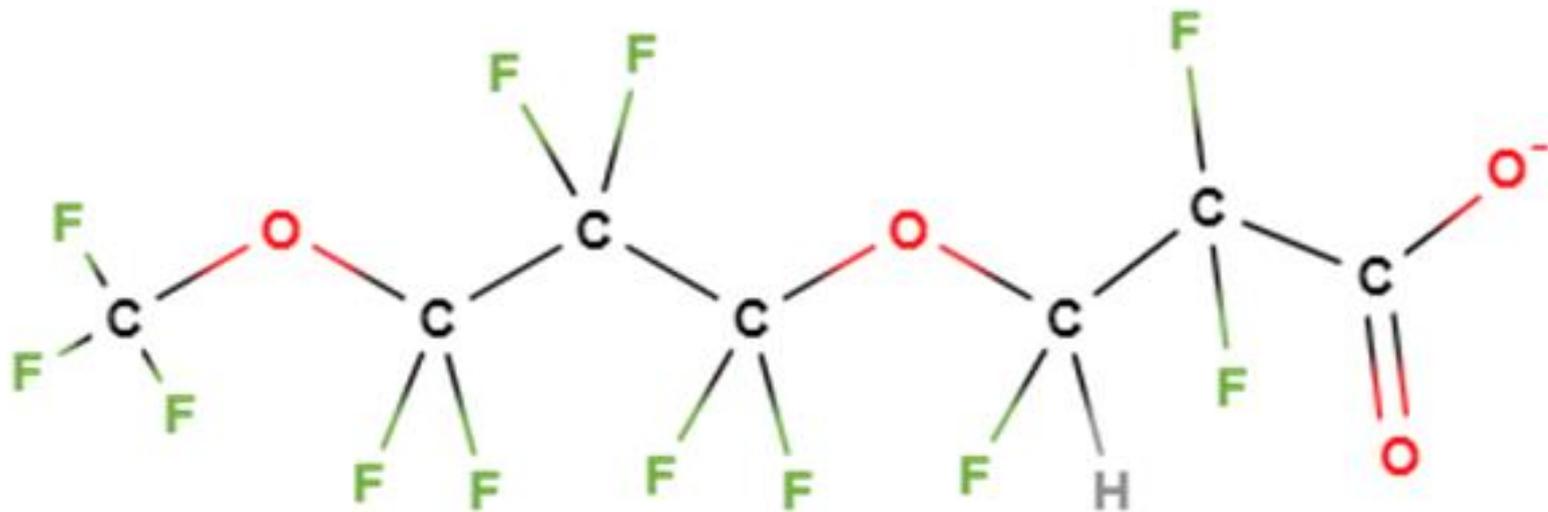
## ADONA

Nome chimico Sale ammonico dell'acido 3H-perfluoro-3-[(3-metossi-propossi)]propanoico

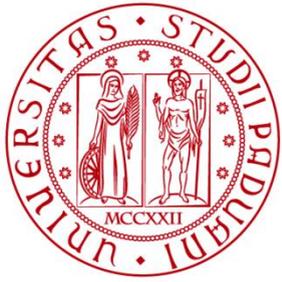
Sinonimo -

CAS 958445-44-8

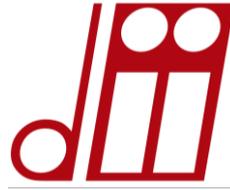
Struttura



Produttore Dyneon 3M



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

# Grazie per l'attenzione

**Prof. Lino Conte, Ing. Alessandro.Zaggia**

Laboratorio sulla Chimica del Fluoro  
Dipartimento di Ingegneria Industriale  
Università degli Studi di Padova, Via  
Marzolo 9

35131 Padova, Italia

Tel.: +39 0498272555

email: [lino.conte@unipd.it](mailto:lino.conte@unipd.it) ;  
[alessandro.zaggia@unipd.it](mailto:alessandro.zaggia@unipd.it)