

PFAS: a novel path to breaking down 'Forever Chemicals'

■ A group of chemists at Goethe University Frankfurt have developed a catalyst capable of breaking down per- and polyfluorinated organic substances (PFAS) – also known as 'forever chemicals', in a targeted manner. PFAS are widely used to make surfaces resistant to dirt and water, but their extreme persistence in the environment and potential health risks have made them a growing concern. What sets this new catalyst apart is that it does not rely on costly or toxic heavy metals like platinum, palladium, or iridium.

PFAS are, in many ways, remarkable molecules. Even a thin layer can repel water, oil, and dirt. They are also highly resistant to heat and UV light, which makes them ideal for coating breathable outdoor clothing, stain-resistant carpets, disposable tableware, irons, and non-stick pans. Industrially, PFAS are used as lubricants, surfactants, wetting agents, in chrome plating, and in fire-fighting foams. The list goes on – PFAS are nearly everywhere.

But these benefits come at a cost: because PFAS are so resilient, they persist in the environment long after their intended use. While they can be nearly completely destroyed in waste incineration plants, they may accumulate in the material cycle during recycling – including in textiles or sewage sludge – and then enter the environment. PFAS can be found in water, soil, plants, and even in the human body. This is particularly concerning because some of the approximately 4,700 known PFAS compounds are suspected to be carcinogenic or to cause other health issues. The key to PFAS' effectiveness – and their environmental persistence – lies in their extremely stable molecular structure, especially the carbon-fluorine (C-F) bonds. Now, a team of chemists led by Professor Matthias Wagner at Goethe University's Institute of Inorganic and Analytical Chemistry has developed a catalyst that can cleave these C-F bonds within seconds and at room temperature. The heart of the catalyst consists of two boron atoms, which have been embedded in a carbon framework in a manner that makes them resistant to air and moisture, a rare and highly practical property for boron compounds.

Christoph Buch, a doctoral researcher in Wagner's group and first author of the study, explains: "To break C-F bonds, we need electrons, which our catalyst transfers with exceptional efficiency. So far, we've been using alkali metals like lithium as the electron source, but we're already working on switching to electrical current instead. That would make the process both much simpler and more efficient".

Beyond PFAS degradation, Wagner sees broader applications for the catalyst: "Many pharmacologically important substances contain fluorine atoms to increase their physiological stability and enhance their effect. Fluorine atoms can also improve drug uptake. With this catalyst, we now have a tool that allows us to precisely control the degree of fluorination in such compounds".

PFAS: nuovo percorso di scansione dei 'Prodotti chimici perenni'

■ Un gruppo di chimici dell'Università Goethe di Francoforte ha messo a punto un catalizzatore in grado di separare le sostanze organiche per- e polifluorate (PFAS), note anche come 'prodotti chimici perenni', in modo mirato. Le PFAS sono ampiamente utilizzate per rendere le superfici resistenti alle impurità e all'acqua, ma la loro estrema persistenza nell'ambiente e il rischio potenziale per la salute hanno aumentato le preoccupazioni derivanti dal loro utilizzo. Quel che rende unico questo nuovo catalizzatore è che non è a base di metalli pesanti tossici e costosi come il platino, il palladio o l'iridio.

Le PFAS sono, per molti aspetti, molecole degne di nota. Anche uno strato sottile

può respingere l'acqua, l'olio e le impurità. Esse sono anche molto resistenti al calore e ai raggi ultravioletti il che le rende ideali per rivestire capi di abbigliamento traspirabile per ambienti esterni, tappeti resistenti alle macchie, stoviglie da smaltire, oggetti in ferro e padelle non aderenti. In ambito industriale le PFAS sono utilizzate come lubrificanti, tensioattivi, agenti bagnanti nelle operazioni di cromatura e nelle schiume ignifughe. E l'elenco può continuare perché le PFAS si trovano quasi ovunque. Eppure questi vantaggi hanno un costo: poiché esse sono molto resilienti, persistono nell'ambiente a lungo dopo essere state utilizzate. Se è vero che possono essere quasi completamente distrutte negli impianti di incenerimento, esse però possono accumularsi nei cicli di materiali durante il riciclo, come nei prodotti tessili e nei fanghi delle fognature per poi entrare nell'ambiente. Le PFAS possono trovarsi nell'acqua, nel suolo, nelle piante e anche nel corpo umano. Ciò è particolarmente preoccupante perché alcune delle 4700 PFAS note sono ritenute cancerogene oppure una possibile causa di patologie.

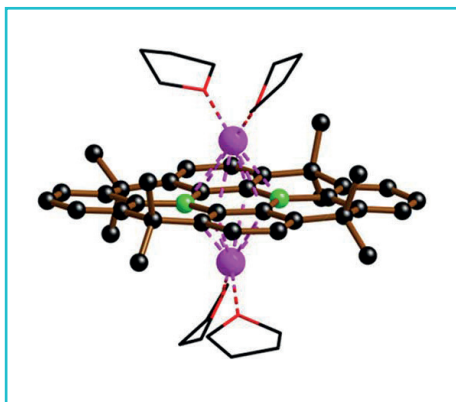
La chiave dell'efficacia delle PFAS e la loro persistenza nell'ambiente sono rappresentate dalla loro struttura molecolare estremamente stabile, in particolare i legami carbonio-fluoro (C-F).

Un team di chimici diretti dal Prof. Matthias Wagner dell'Istituto di Chimica Inorganica e Analitica dell'Università Goethe ha messo a punto un catalizzatore che può dividere questi legami C-F in pochi secondi a temperatura ambiente.

Il nucleo del catalizzatore è costituito da 2 atomi di boro, che sono stati incorporati in una struttura di carbonio in modo da renderli resistenti all'aria e all'umidità, una proprietà rara e molto pratica dei composti di boro.

Christoph Buch, ricercatore che frequenta il dottorato, del gruppo di Wagner e primo autore dello studio ha spiegato: "Per rompere i legami C-F sono necessari gli elettroni che il nostro catalizzatore trasferisce con eccellente efficacia. Finora abbiamo utilizzato metalli alcalini quali il litio come fonte dell'elettrone, ma stiamo già lavorando al passaggio alla corrente elettrica. Questo renderebbe il processo molto più semplice ed efficiente".

Al di là della degradazione delle PFAS, Wagner vede applicazioni più estese per il catalizzatore: "Molte sostanze importanti dal punto di vista farmacologico contengono atomi di fluoro che ne aumentano la stabilità fisiologica migliorandone l'effetto. Gli atomi di fluoro possono anche migliorare l'assorbimento di sostanze chimiche. Grazie a questo catalizzatore, possediamo ormai uno strumento che consente di misurare in modo preciso il grado di fluorurazione di questi composti".



New catalyst splits C-F bonds: Two boron atoms (green spheres) are embedded in a framework of carbon atoms (black). The electrons required for C-F cleaving currently still come from lithium (pink), in future from electric current. Image: Group of Matthias Wagner, Goethe University Frankfurt

Il nuovo catalizzatore divide i legami C-F: due atomi di boro (sfere verdi) sono incorporati in una struttura di atomi di carbonio (neri). Gli elettroni richiesti per la separazione C-F attualmente provengono dal litio (rosa) e nel futuro dalla corrente elettrica. Immagine: Gruppo di Matthias Wagner, Goethe University di Francoforte