

## EDITORIALE

**Le lezioni apprese dagli inquinanti emergenti ed “eterni” nelle acque sotterranee: PFAS**Giovanni Pietro Beretta - *Università di Milano.*

Le nuove sostanze di produzione antropica che si ritrovano nelle matrici ambientali da qualche anno sono definite inquinanti emergenti. È il caso dei PFAS nelle acque sotterranee, individuati per la prima volta in Veneto oltre 10 anni fa e successivamente anche in altre zone d'Italia, che potrebbe costituire un esempio emblematico.

Le sostanze per- e poli-fluoroalchiliche PFAS sono state prodotte e utilizzate in una varietà di settori in tutto il mondo a partire dagli anni '40 del secolo scorso e vengono utilizzate ancora oggi.

I PFAS vengono sintetizzati per gli usi più diversi, che vanno dalle schiume antincendio, ai rivestimenti per indumenti e mobili, alle sostanze a contatto con gli alimenti; molti PFAS vengono utilizzati anche in processi e applicazioni industriali, come nella produzione di altri prodotti chimici e prodotti.

Nel 1938 i PFAS vengono scoperti casualmente e poi usati e solo nel 1976 i PFOA vengono identificati in campioni di sangue umano e nel 1984 nell'acqua potabile; dopo il 2000 sono state introdotte norme di riferimento a livello mondiale.

I PFAS sono un gruppo molto ampio di sostanze, in cui i composti più noti sono l'acido perfluorooctanoico (PFOA) e l'acido perfluorooctansolfonico (PFOS).

In Italia, dopo i valori limite proposti dall'Istituto Superiore di Sanità e dalla Regione Veneto, è stato stabilito un valore limite di 0,50 µg/L (PFAS totali) e 0,10 µg/L (sottoinsieme di alcuni PFAS) nell'acqua potabile nella normativa nazionale di attuazione della Direttiva (UE) 2020/2184 del Parlamento Europeo e del Consiglio.

Dal punto di vista tecnico-scientifico, dall'esperienza acquisita si possono ricavare i seguenti insegnamenti per le attività dell'idrogeologo che possono avere un importante riflesso sulla società in termini di salvaguardia della salute umana.

1-È richiesta un'elevata efficienza nelle indagini di monitoraggio e nelle prestazioni degli strumenti analitici (precisioni fino al limite di quantificazione di 3,3 ng/L sono possibili con gli spettrometri di massa a quadrupolo).

2-Il forte legame C-F nelle molecole determina la persistenza del composto e la sua resistenza alla degradazione e attualmente non sono noti microrganismi in grado di biodegradare i composti.

3-All'interno del gran numero di composti (oltre 4000) ci sono gruppi poco mobili ( $K_{oc} < 10^4$  L/kg) ed altri mobili ( $K_{oc} 100-10^2$  L/kg).

4-Le modifiche nel frattempo introdotte alle molecole originali, con l'inserimento di ossigeno (GenX o HFPO-DA), hanno reso i composti più mobili nelle acque sotterranee.

## EDITORIAL MESSAGE

**The lessons learned from emerging and “eternal” pollutants in groundwater: PFAS**Giovanni Pietro Beretta - *University of Milan.*

*The new substances resulting from anthropic production found in environmental matrices for some years have been defined as emerging pollutants. This is the case of PFAS in groundwater, first identified in the Regione Veneto over 10 years ago and later also in other areas of Italy, which could act as an emblematic example.*

*The per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS) have been manufactured and used in a variety of industries around the globe since the 1940s, and they are still being used today.*

*PFAS are synthesized for many different uses, ranging from firefighting foams, to coatings for clothes and furniture, to food contact substances; many PFAS are also used in industrial processes and applications, such as in the manufacturing of other chemicals and products.*

*In 1938 PFAS were discovered by chance and then entered into use and only in 1976 PFOA were identified in human blood samples and in 1984 in drinking water; after 2000, reference regulations were introduced worldwide.*

*PFAS are a very large group of substances, whose best-known compounds are perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctanesulfonic acid (PFOS).*

*In Italy, after limit values proposed by the Istituto Superiore di Sanità and Regione Veneto, limit values of 0.50 µg/L (total PFAS) and 0.10 µg/L (subset of some PFAS) in drinking water were established in the national legislation for implementation of Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council.*

*From a technical and scientific point of view, from the experience acquired we can derive the following lessons for the hydrogeologist's activities. Can have an important impact on society in terms of health safeguarding.*

*1- High efficiency in the monitoring investigations and in the performance of analytical instruments are required (accuracies up to a limit of quantification of 3.3 ng/L is possible with quadrupole mass spectrometers).*

*2- The strong C-F molecular bond determines the persistence of the compound and its resistance to degradation and currently no microorganisms capable of these compounds' biodegradation are known.*

*3- Within the large number of compounds (over 4000) there are groups which are not very mobile ( $K_{oc} < 10^4$  L/kg) and others which are mobile ( $K_{oc} 100-10^2$  L/kg).*

*4- The modifications introduced to the original molecules in the meantime, with the insertion of oxygen (GenX or HFPO-DA), have made the compounds more mobile in groundwater.*

5-Per questi motivi la bonifica delle fonti inquinanti identificate è attualmente fattibile con metodi innovativi (distruzione delle molecole o adsorbimento anche con nanoparticelle).

6-Metodi tradizionali di bonifica (ad esempio barriera idraulica) possono essere adottati per il pennacchio che può estendersi anche km a valle. La bonifica dei composti nelle sorgenti puntuali, verificata in varia sperimentazione in laboratorio, trova applicazioni in campo con una maggiore efficacia con interventi sia distruttivi (smaltimento in discarica, incenerimento) che non distruttivi (solidificazione).

7- I tradizionali metodi di trattamento delle acque, come ad esempio l'adsorbimento su carbone attivo, lo scambio ionico, l'osmosi inversa e la nanofiltrazione, non sono sempre efficaci nel rimuovere completamente i PFAS dalle acque ed è atteso lo sviluppo di tecnologie di trattamento più efficienti per mitigare la contaminazione in corso e garantire la qualità delle acque.

8-Ingenti costi di investimento e di gestione dovranno essere investiti per molti anni per la bonifica dei siti e per ripristinare la qualità del suolo e dell'acqua, minimizzando anche le emissioni di gas serra durante i lavori.

9-La grande presenza dei PFAS nelle acque sotterranee anche in Italia e la loro stabilità che ne impedisce la loro modifica e/o degradazione fa attribuire a queste sostanze la denominazione di "inquinante eterno" e la sua diffusione nel territorio come una "sorgente non puntuale" con particolare riferimento agli acquiferi porosi in zone urbane.

10-La possibilità di distribuzione regolare di acqua potabile da parte degli acquedotti è condizionata dai trattamenti che, per raggiungere un livello massimo di 4-10 ng/l negli USA fino al 10% degli impianti pubblici, richiede investimenti che sono stati stimati da US EPA in 15 miliardi di dollari/anno.

Un'ultima e complessiva lezione è costituita dal punto di vista sociale, in cui la creazione e l'utilizzo di nuove sostanze che sembrano facilitare gli stili di vita e il benessere devono essere sottoposti preventivamente ad un attento studio riguardo all'impatto che possono avere sull'ambiente e sulla salute umana.

In questo contesto risulta interessante menzionare i contenuti dei contributi inseriti in questo nuovo numero della nostra rivista. Ad esempio, il lavoro di (Escalante et al., 2025), seppur non direttamente collegato al tema dei PFAS, è dedicato alla stima della conducibilità idraulica, una grandezza fondamentale che governa il flusso delle acque sotterranee e, di conseguenza, i fenomeni di trasporto e migrazione degli inquinanti nei sistemi acquiferi. Aspetti, questi, che sono strettamente correlati alle capacità di interpretazione e modellazione dei fenomeni di inquinamento e bonifica del sottosuolo.

Altri tre contributi di questo numero trattano il tema della qualità delle acque, dal punto di vista di diversi aspetti. L'articolo di (Atbi et al., 2025) affronta il tema del rapporto fra acque superficiali e acque sotterranee, e della centralità di questo processo nel contesto di valutazione della qualità della

*5-For these reasons cleanup of identified pollutant sources is currently feasible with innovative methods (destruction of the molecules or adsorption including with nanoparticles).*

*6-Traditional cleanup methods (e.g. hydraulic barrier) can be adopted for the plume which can extend as much as km downgradient. The remediation of compounds in point sources, verified in various laboratory experiments, has so far found applications in the field with greater effectiveness with both "destructive" interventions (landfill disposal, incineration) and "non-destructive" ones (solidification).*

*7-Conventional water treatment methods like activated carbon adsorption, ion exchange, reverse osmosis and nanofiltration, are not always effective in completely removing PFAS from water; an improvement is expected in the development of efficient treatment technologies to mitigate contamination and to ensure water quality.*

*8-Significant capital and O&M costs will have to be spent over many years for sites' remediation and to restore soil and water quality, also minimizing greenhouse gas emissions during the works.*

*9-The significant presence of PFAS in groundwater also in Italy and their stability which prevents their modification and/or degradation leads to these substances being labelled as "eternal pollutants" and their diffusion in the territory as a "non-point source" with particular reference to porous aquifers in urban areas.*

*10-The possibility of regular distribution of drinking water by aqueducts is conditioned by treatments which, to reach a maximum contaminant level of 4-10 ng/L in the USA means up to 10% of public systems, require investments that have been estimated by the US EPA at 15 billion dollars/year.*

*A final and overall lesson is constituted from the social point of view, in which the creation and use of new substances that seem to facilitate lifestyles and well-being must be previously subjected to careful study regarding the impact on environment and human health.*

*In this context, it is interesting to mention the contents of the papers included in this issue of our journal. For example, the work of (Escalante et al., 2025), although not directly related to the topic of PFAS, deals with the estimation of hydraulic conductivity, a fundamental quantity governing groundwater flow and, as a consequence, the transportation and migration of contaminants in aquifers, phenomena which are essential for interpreting and modeling contamination behavior and soil remediation.*

*Three further contributions to this issue deal with the topic of water quality, each covering different aspects. The article (Atbi et al., 2025) addresses the issue of the relationship between surface- and groundwater, and the importance of this process when assessing the quality of water resources for irrigation purposes. Geochemical analysis applied to the evaluation of mineral waters and the estimation of deep feeding patterns is instead the topic covered in (Brozzo, 2025), focusing on a specific area (the Vicentine Prealps, in Italy), but describing a methodology that can also be applied*

risorsa per scopi irrigui. L'analisi geochemica applicata alla valutazione delle acque minerali e alla stima degli schemi di alimentazione profondi è invece il tema trattato in (Brozzo, 2025), focalizzato su un'area specifica (le Prealpi Vicentine, in Italia), ma con illustrazione di una metodologia applicabile in modo efficace anche ad altri contesti. Il lavoro di (Ardjane, 2025) si concentra invece sulla stima del WQI (Water Quality Index) e l'utilizzo di metodi di statistica multivariata per investigare la qualità delle acque sotterranee nelle pianure alluvionali di El-Abd e El-That, regione di Tiaret, in Algeria nordoccidentale.

Infine, il contributo di (Orang et al., 2025) presenta un'interessante trattazione sui problemi di gestione della risorsa idrica, e di come alcune tecniche innovative di gestione condivisa e partecipata (come i processi di negoziazione) possano migliorare il controllo e il governo della risorsa idrica da parte degli Enti preposti.

*effectively in other geographical contexts. The paper by (Ardjane, 2025) focuses instead on the estimation of the WQI (Water Quality Index) and the use of multivariate statistical methods to investigate the quality of groundwater in the floodplains of El-Abd and El-That, Tiaret region, in northwestern Algeria.*

*Finally, the contribution by (Orang et al., 2025) presents an interesting discussion on problems in water resource management, and how some innovative techniques of shared and participatory management (such as negotiation processes) can improve the control and governance of water resources by local and national authorities.*

## **BIBLIOGRAFIA/REFERENCES**

- Ardjane, T.E.A, Meddah, B., Bekkoussa, B.S., Zemour, K., Mairif, M. (2025). Groundwater quality assessment using the Water Quality Index coupled with multivariate statistical analysis in the alluvial plains of El- Abd and El-That, Tiaret region, Northwestern Algeria. *Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater*, 14(2), 73 - 88. <https://doi.org/10.7343/as-2025-852>
- Atbi, A., Kendouci, M.A., Mebarki, S. (2025). Management and monitoring of mixed groundwater and surface water quality in Bechar, southwestern Algeria. *Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater*, 14(2), 31 - 46. <https://doi.org/10.7343/as-2025-832>
- Brozzo, G. (2025). Geochemical study of Recoaro Terme and Valli del Pasubio area mineral springs (Vicenza Pre-Alps). *Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater*, 14(2), 49 - 70. <https://doi.org/10.7343/as-2025-841>.
- Fernández Escalante, E., Crespo Arribas, N., Fernández Cordero, S. (2025). Ranking multiple infiltration formulas to determine their match to trustable hydrogeological parameters obtained under highly controlled conditions. Santiuste basin, Los Arenales Living Lab, Spain. *Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater*, 14(2), 09 - 28 <https://doi.org/10.7343/as-2025-817>
- Orang, A., Taghilou, A.A., Soltani, N. (2025). Is it possible to use the “negotiation” technique in groundwater management? An experience from Talesh city, Gilan province - Iran. *Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater*, 14(2), 91- 102. <https://doi.org/10.7343/as-2025-821>