

# NATURE BASED SOLUTIONS NELLA BONIFICA DEI PFAS: QUALI POTENZIALITÀ?

*Martina Antonucci,*  
Senior Environmental Scientist |  
WSP Italia



CONVEGNO  
**Assoreca**  
ASSOCIAZIONE AMBIENTE . ENERGIA  
SICUREZZA . RESPONSABILITÀ SOCIALE

**OSSERVATORIO PFAS ASSORECA**  
RIFLESSIONI PER UN APPROCCIO  
METODOLOGICO

19.09.2024 | H 14.00

---

**REMTECH EXPO 24**  
FERRARA FIERE



# Nature Based Solutions nella bonifica dei PFAS: quali potenzialità?

«Stabilizzazione con biochar in situ integrata con TreeWells® per la bonifica dei PFAS nelle acque sotterranee»

Len Mankowski, MS, WSP, Traverse City, Michigan  
Janice Adams, EGLE, Gaylord, Michigan





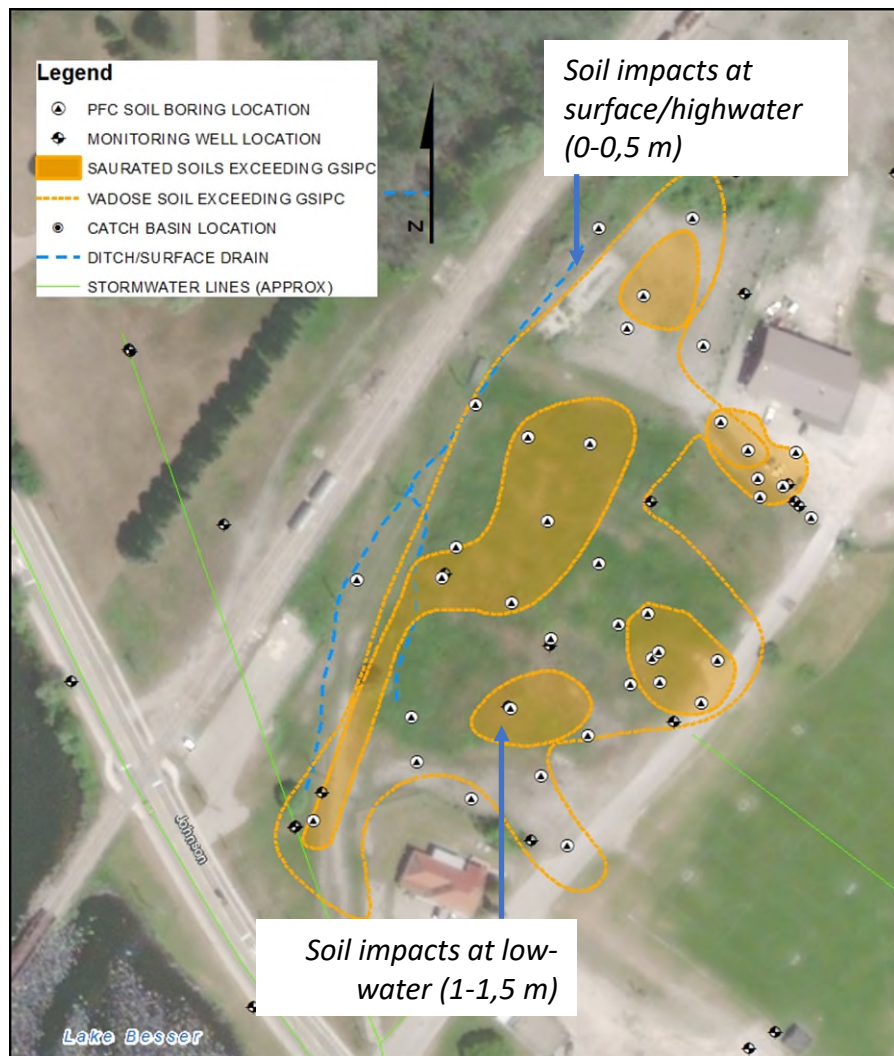
REMTECH EXPO

## Contesto

- Conceria (1890-1940)
- Distrutta da un incendio nel 2005 (sospetto uso di AFFF)
- Situato vicino al fiume Thunder Bay
- Lago Huron ~1 km
- La falda emerge stagionalmente in superficie presso il sito
- L'infrastruttura storica per le acque piovane nel Sito si collega al sistema comunale e al fiume Thunder Bay.



# Sorgenti di contaminazione da PFAS nel suolo



I PFAS nel suolo superficiale sono diffusi (0-0,5 m)  
 Gli hotspot di PFAS si estendono fino alla frangia capillare (1-1,5 m)

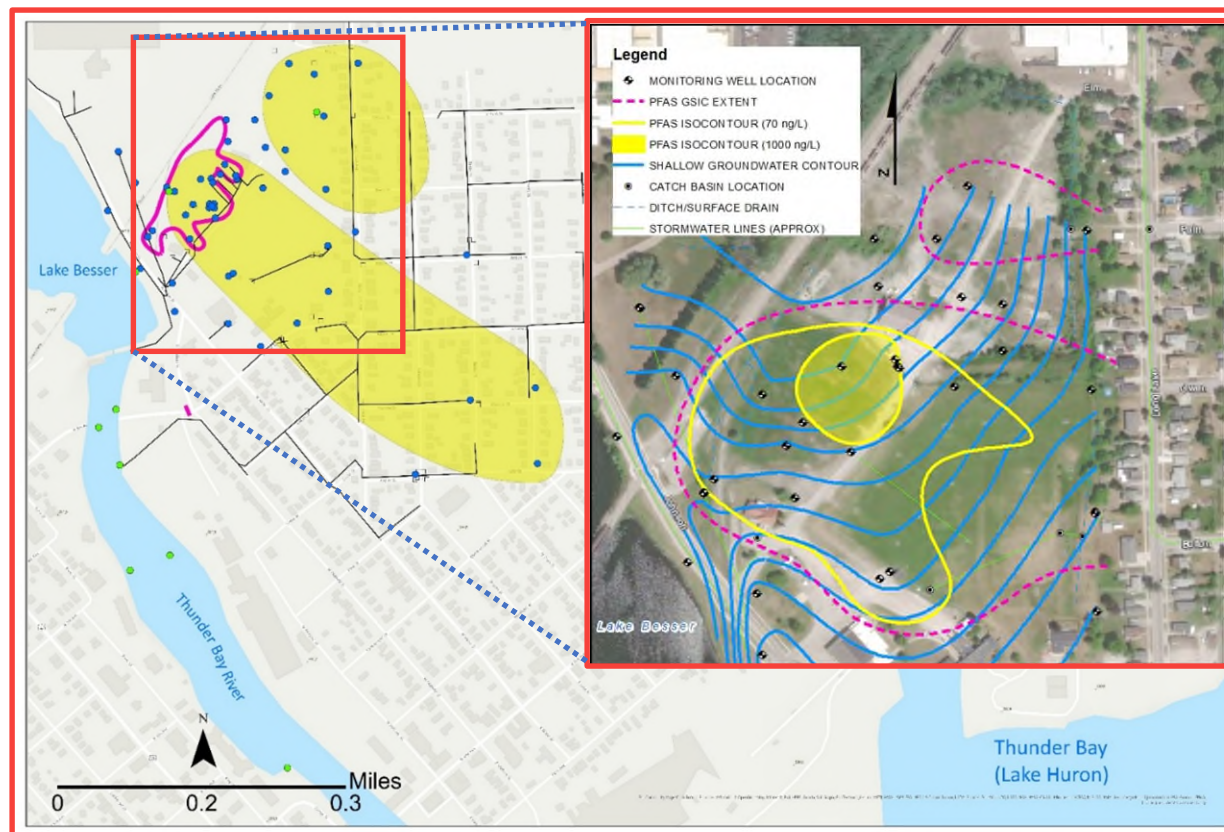
| PFAS        | Soil                         |       |
|-------------|------------------------------|-------|
|             | ng/g (ppb)                   | f (%) |
| PFBA        | ND                           | 0%    |
| PFBS        | 5.7                          | 11%   |
| PFHxS       | 43                           | 56%   |
| PFOS        | 264                          | 63%   |
| PFOA        | 5.4                          | 9%    |
| Total (537) | 14 PFAS; PFAS in 76% samples |       |



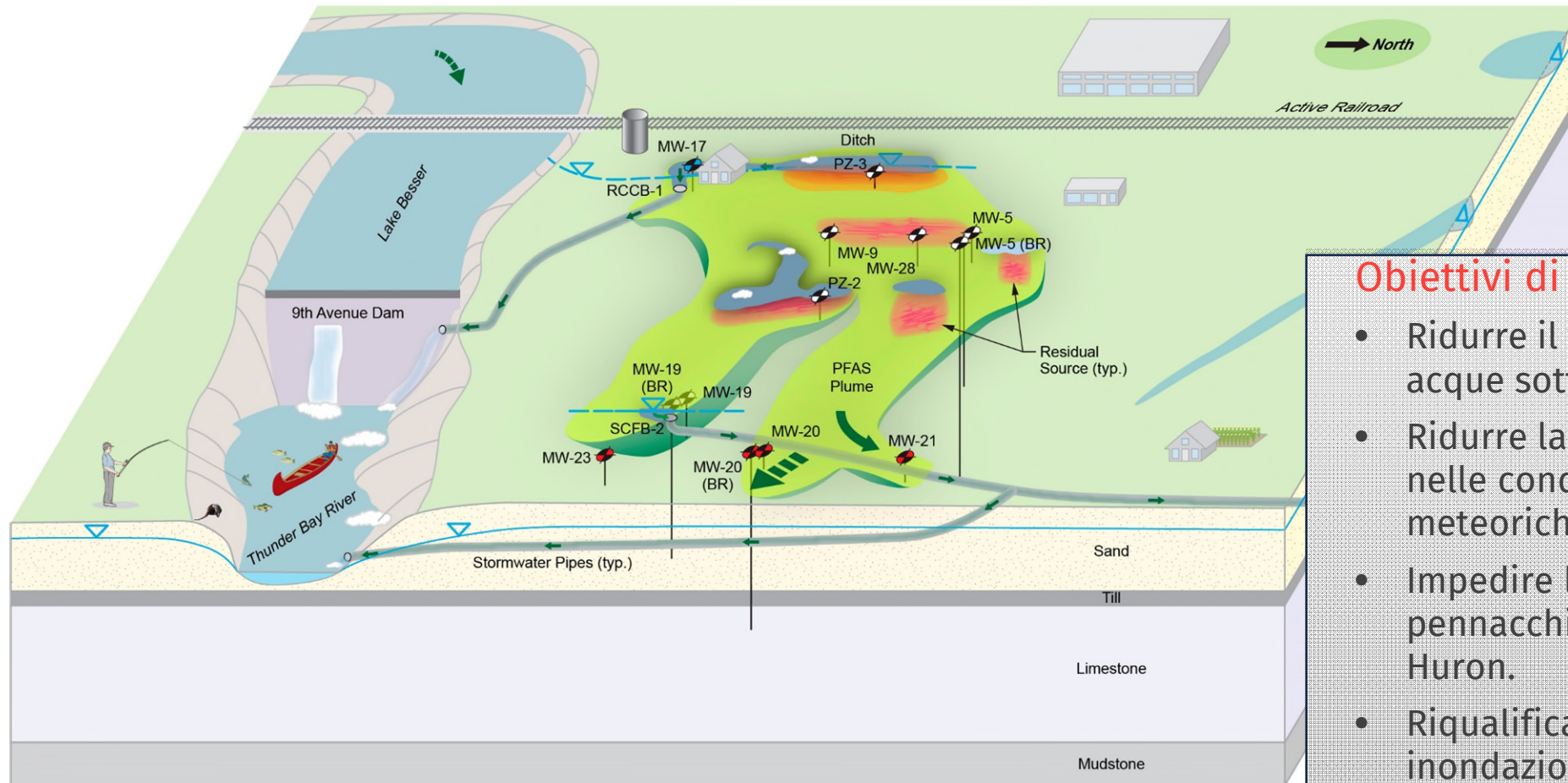
# Sorgenti di contaminazione da PFAS nelle acque sotterranee

- Pennacchio di PFAS verso il lago Huron.
- Le acque sotterranee si infiltrano nelle infrastrutture per le acque piovane (in loco e non) e si riversano nel fiume.
- Stagionalmente le acque sotterranee emergono in superficie.

| PFAS        | Soil       |       | Groundwater   |       |
|-------------|------------|-------|---------------|-------|
|             | ng/g (ppb) | f (%) | ng/L (ppt)    | f (%) |
| PFBA        | ND         | 0%    | 493           | 92%   |
| PFBS        | 5.7        | 11%   | 3,140         | 85%   |
| PFHxS       | 43         | 56%   | <b>15,400</b> | 79%   |
| PFOS        | 264        | 63%   | <b>8,270</b>  | 74%   |
| PFOA        | 5.4        | 9%    | <b>804</b>    | 79%   |
| Total (537) | 14 (f-76%) |       | 20 (f-92%)    |       |



L'idrogeologia locale non è favorevole per P&T.



## Obiettivi di bonifica:

- Ridurre il flusso di PFAS nelle acque sotterranee.
- Ridurre la migrazione dei PFAS nelle condutture delle acque meteoriche
- Impedire lo scarico del pennacchio di PFAS nel lago Huron.
- Riqualificazione: ridurre le inondazioni stagionali

# Aproccio «trap» - Ritenzione vicino alla sorgente?

## Bioavailable Absorbent Media™ (BAM)

Nel 2018 è stato eseguito un test pilota (bench scale e su campo) usando un biochar disponibile in commercio (BAM):

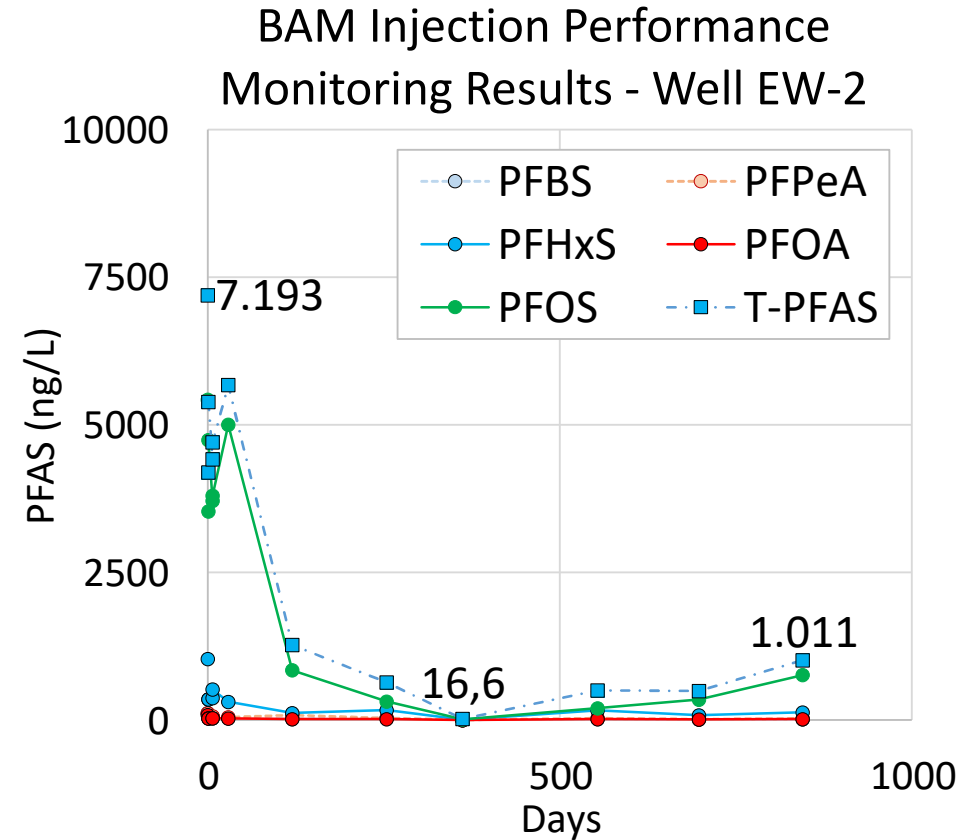
- Miscele iniettabili e per soil mixing
- Efficiente dal punto di vista dei costi
- Sostenibile (senza tensioattivi)
- Riduzione dei livelli di PFOS seguite da un lento e lineare rebound
- Nessun miglioramento delle inondazioni stagionali



Direct Push Injection using "Push-Pull"



Excavator based soil mixing



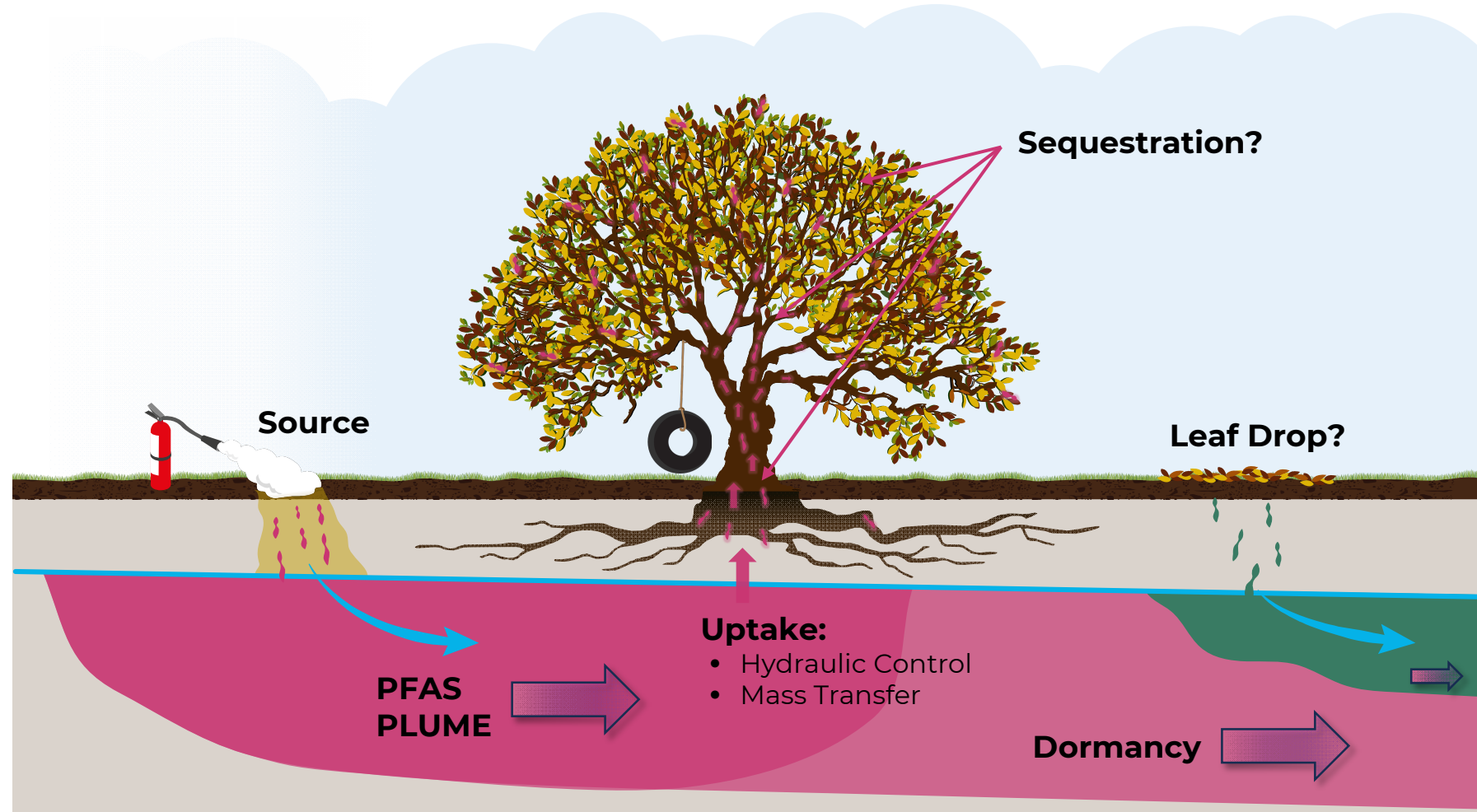
# Aproccio «contain» - Quale ruolo per il fitorimediaio?

## Vantaggi

- Contiene tramite evapotraspirazione (pompaggio)
- Migliore rimozione dei PFAS a catena corta
- Sequestro dei PFAS
- Resiliente; bassi costi di O&M

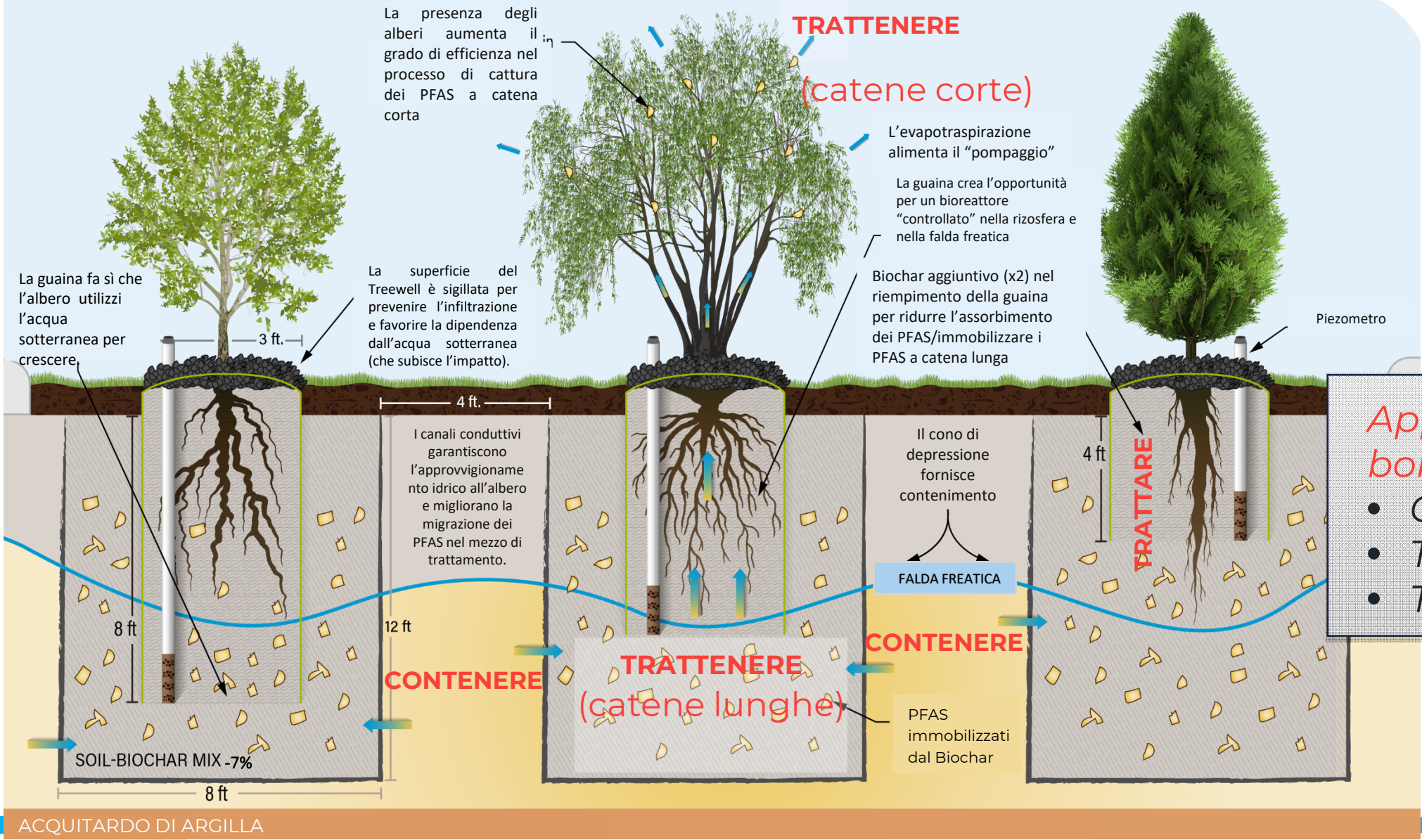
## Incertezze

- Trasferimento di massa dei PFAS
- Gestione?
- Progettazione considerando la dormienza





# Aproccio BAM + Fitorimedia: BAM - TreeWell® Conceptual Design



**Approccio di bonifica**

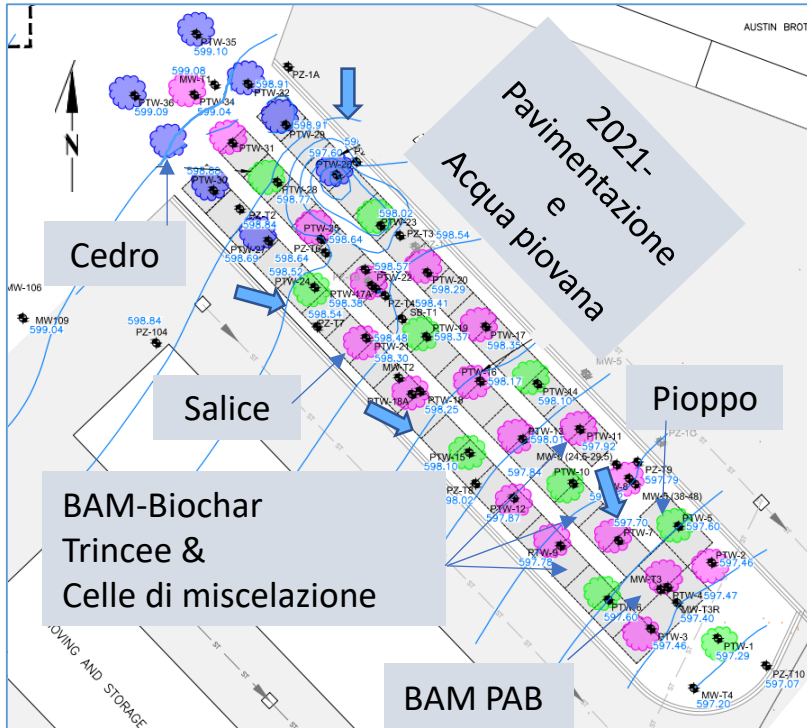
- Contenerere
- Trattenere
- Trattare



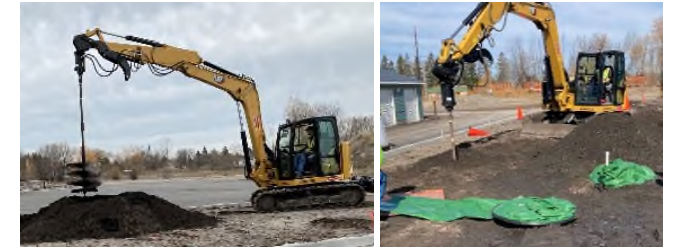
Osservatorio PFAS  
19 settembre 2024



# Test Pilota- BAM+TreeWells

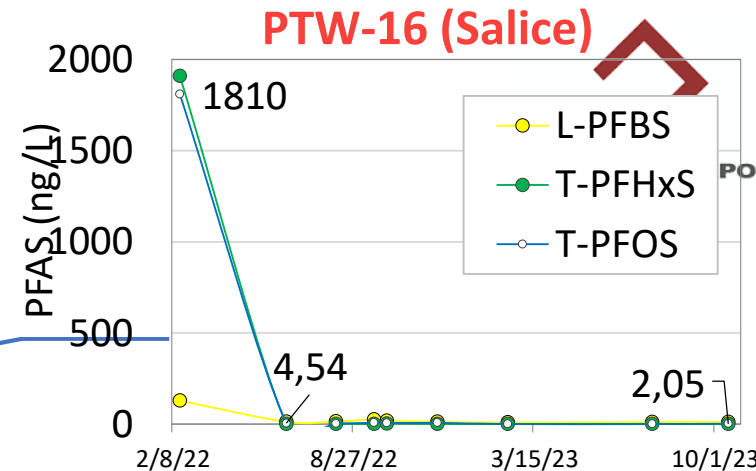
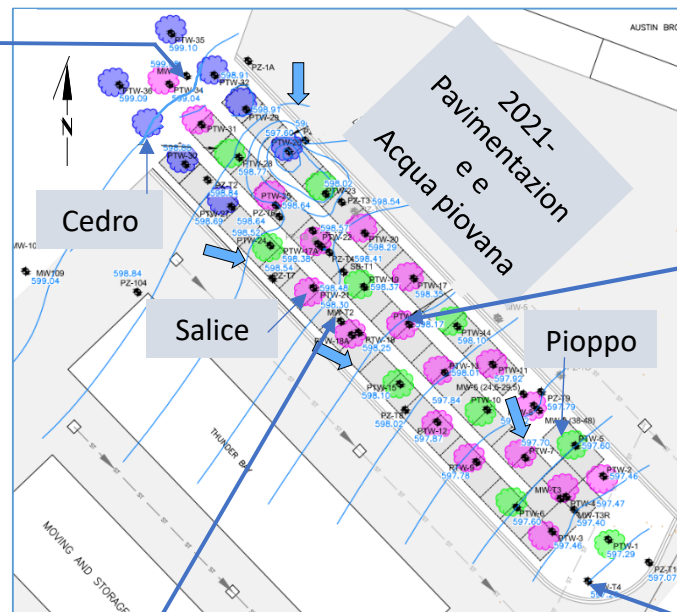
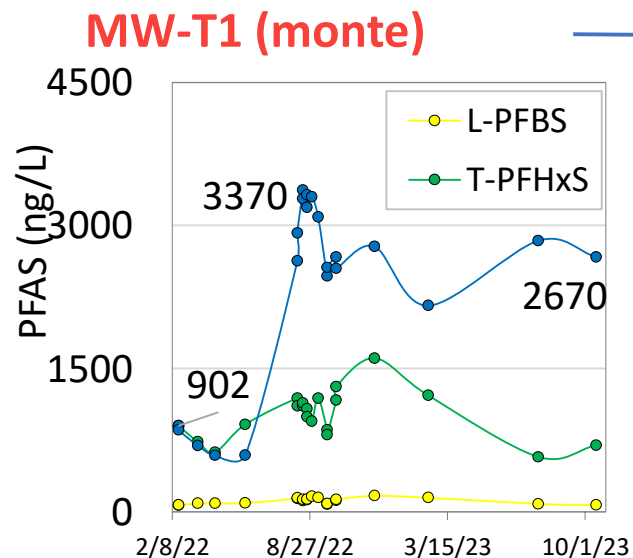


- Terreno mescolato con BAM (7% in volume) in 3 trincee di 2,5 x 45 m di lunghezza, profonde 3-3,5 m
- 35 pozzi per alberi con il 14% di BAM nelle guaine
  - ❑ Perforazioni a intervalli di 5m e 1m di diametro
  - ❑ Piezometri in ogni manicotto
  - ❑ 18 salici (pompaggio a lungo termine)
  - ❑ 10 pioppi (crescita precoce)
  - ❑ 8 cedri (pompaggio stagionale)
  - ❑ Canali conduttivi e BAM



# Risultati delle acque sotterranee

**A monte**  
I livelli di PFAS aumentano nella prima stagione

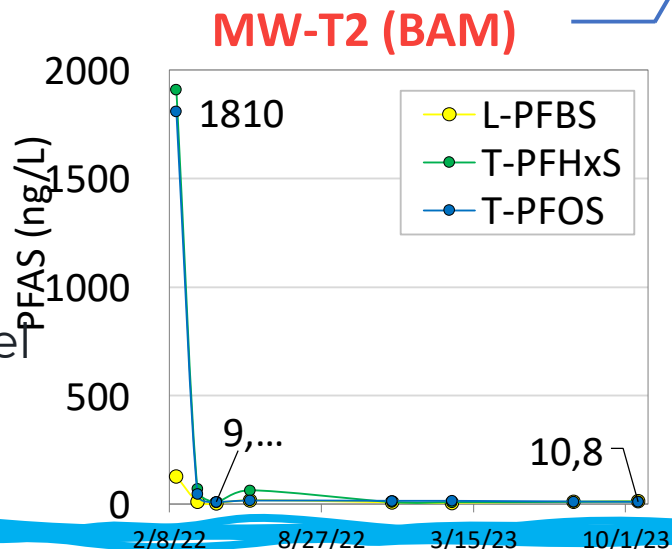


## TreeWells

- **PFOS: riduzione del 99.9%**
- **PFBS: riduzione del 91%**

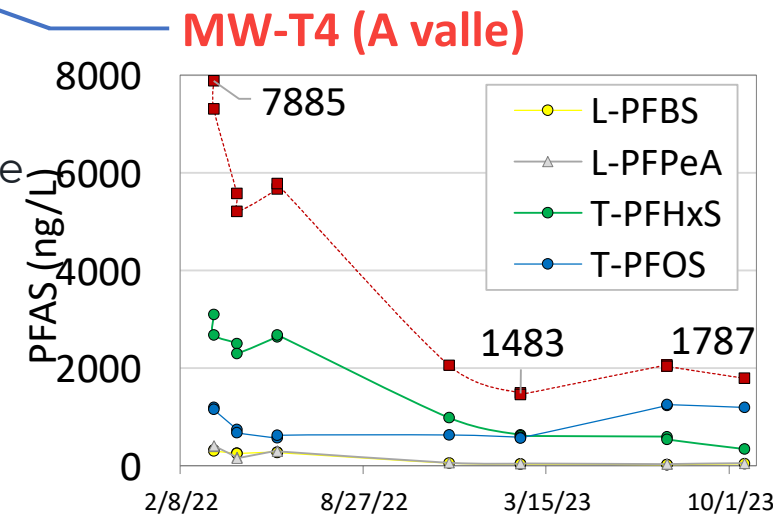
## Trincea BAM

- **PFOS: riduzione del 99.4%**
- **PFBS: riduzione del 89%**



## A valle

- PFAS a catena corta e PFHxS ridotti di circa 80%
- Poca variazione nel PFOS (residuale)

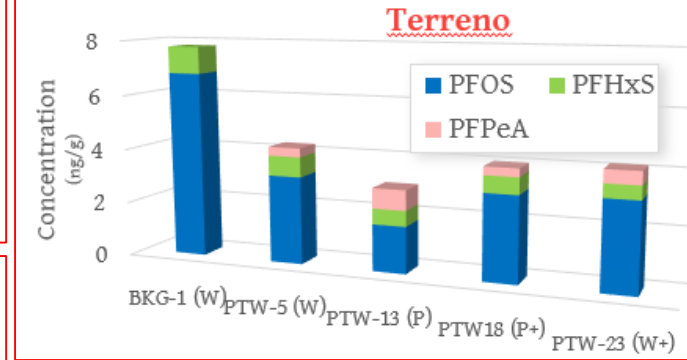
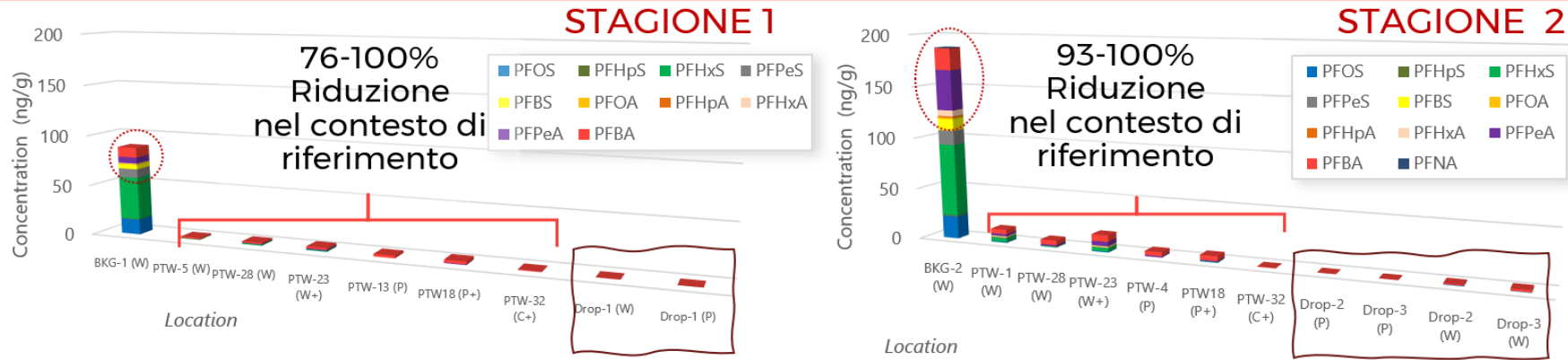


# Assorbimento di PFAS: Acque sotterranee/Terreno → Piante

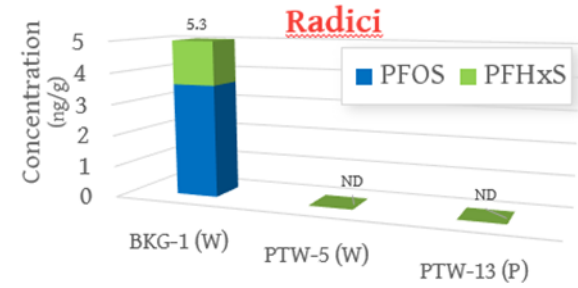
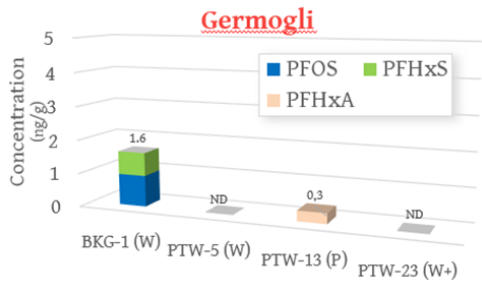
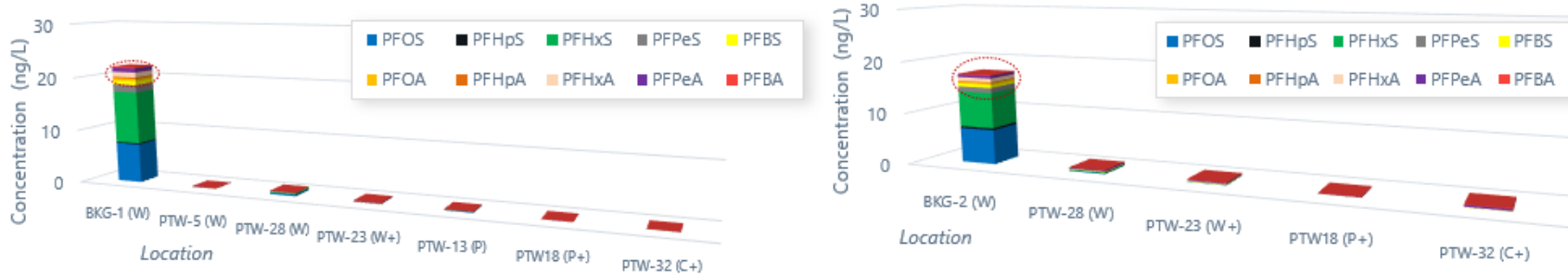


REMTECH EXPO

FOGLIE



ACQUE SOTTERRANEE



## Contenere

- Depressione conica generata dalle piante al di sotto dell'area di studio, attira il flusso di PFAS nelle porzioni trattati con biochar.
- I PFAS totali sono diminuiti di oltre l'80% a valle della zona di trattamento, inclusi i PFAS a catena corta.
- Da quando è stata effettuata la pavimentazione / piantumazione degli alberi la falda non è più emersa in superficie né è entrata nel sistema di raccolta delle acque piovane.

## Trattenere e Trattare

- BAM ha ridotto PFOS & PFHxS nelle acque sotterranee di oltre il 99%.
- Nessun rebound osservato nell'area di trattamento.
- I PFAS a catena corta presenti nelle acque sotterranee sono intrappolati nelle foglie degli alberi.
- PFAS ridotti di oltre il 93% (Stagione 2) tramite assorbimento fogliare, non rilevabili nelle foglie cadute.
- Nessun PFAS è stato rilevato nelle radici e nei tessuti del tronco analizzati dai pozzi degli alberi trattati con BAM.

## Futura Ricerca

- **Ciclo dei PFAS all'interno della pianta.**  
La diminuzione dei livelli di PFAS nelle foglie cadute suggerisce che alcuni PFAS potrebbero essere riassorbiti nell'albero o nel suolo in autunno (PFPeA).
- **Distruzione?** I sistemi BAM-TreeWell forniscono un ambiente sperimentale "controllato" e "lento" all'interno delle guaine delle radici ("inserire bioreattore"?)