

# Monitoraggio dell'attenuazione naturale mediante l'applicazione combinata di analisi biomolecolari, isotopiche e idrochimiche

---

**Tatiana Stella**, M3R S.r.l.

**Fabio De Palma**, TAUW Italia S.r.l.



PREMIO Assoreca ESG - Milano, 11 Dicembre 2024

L'elemento di innovazione del progetto è costituito dall'applicazione combinata di analisi *biomolecolari, isotopiche, idrochimiche* per la dimostrazione dell'esistenza di fenomeni di **attenuazione naturale** della contaminazione, costituita da solventi clorurati, idrocarburi e metalli, presente nelle acque sotterranee di sito industriale dismesso.

L'attenuazione naturale è costituita dall'insieme di fenomeni fisici, chimici e biologici che concorrono alla riduzione della massa di contaminanti.

Si tratta di una tecnica di intervento sostenibile in quanto caratterizzata da un **limitato impatto economico, ambientale e sociale**.

Quando supportata da un approccio scientifico di elevato profilo, è una tecnica di intervento di grande **scalabilità** e concretamente applicabile ai numerosi siti contaminati altrimenti non gestiti a causa di mancanza di risorse economiche, operative e tecniche.

# Sustainable development goals

3 SALUTE E BENESSERE



Il progetto è basato sull'applicazione di una tecnica di bonifica a basso costo economico, ambientale e sociale (MNA) che consente di **ELIMINARE/MITIGARE RISCHI PER LA SALUTE UMANA** e per l'ambiente associati alla presenza di inquinamento nelle acque sotterranee che costituiscono la principale sorgente di acque ad uso potabile/irriguo

6 ACQUA PULITA E IGIENE



Il basso costo sociale, ambientale ed economico del MNA consente, in linea teorica, una diffusa applicazione per la bonifica delle acque sotterranee, che costituiscono la fonte principale di produzione di **ACQUA AD USO POTABILE**. Essa permette di **TUTELARE**, in modo sostenibile, un'importante **RISORSA NATURALE** depauperata dai prelievi industriali ed agronomici e qualitativamente alterata da cause antropiche

9 INDUSTRIA, INNOVAZIONE E INFRASTRUTTURE



L'intervento di MNA descritto si avvale di **TECNICHE E APPROCCI SCIENTIFICI DI ELEVATO LIVELLO** che sono richiesti per l'esecuzione dei protocolli di monitoraggio che prevedono analisi biomolecolari e isotopiche. L'elevato profilo tecnico delle analisi richieste può essere di stimolo alla **RICERCA SCIENTIFICA APPLICATA AL MONDO DELL'INDUSTRIA E DEI SERVIZI**.

11 CITTÀ E COMUNITÀ SOSTENIBILI



L'applicazione di tecniche di biorisanamento consente di **RENDERE LE CITTÀ E GLI INSEDIAMENTI UMANI INCLUSIVI, SICURI, DURATURI E SOSTENIBILI ATTRAVERSO UN APPROCCIO OLISTICO**. Da un lato, queste tecniche permettono la bonifica delle aree inquinate, rendendole sicure per nuovi usi, come parchi pubblici, spazi verdi o abitazioni e contribuendo a costruire insediamenti umani più sicuri e resilienti; dall'altro, promuovono il coinvolgimento delle comunità locali attraverso azioni inclusive e partecipative, consentendo ai cittadini di diventare protagonisti nel migliorare la qualità dell'ambiente in cui vivono.

13 AGIRE PER IL CLIMA



**L'EMISSIONE DI GAS CLIMALTERANTI DELL' MNA È SIGNIFICATIVAMENTE INFERIORE ALLE EMISSIONI DELLE TECNICHE TRADIZIONALI**. Ciò consente di promuovere, su più livelli, dalle politiche governative al settore privato fino agli enti di ricerca, l'uso di questa tecnica nell'ambito di politiche mirate a contenere le emissioni di gas serra.

14 LA VITA SOTT'ACQUA



Il risanamento mediante tecniche sostenibili delle falde acquifere costituisce un' importante forma di **TUTELA DELLA VITA SOTT'ACQUA**, dal momento che le acque sotterranee sono in collegamento idraulico e idrochimico con corpi idrici superficiali quali fiumi, laghi e, soprattutto, mare.

15 LA VITA SULLA TERRA



L'applicazione diffusa di tecniche di bonifica a basso costo ambientale, sociale ed economico consente di **TUTELARE GLI ECOSISTEMI ACQUATICI E TERRESTRI**, eliminando o mitigando situazioni di rischio sanitario ed ambientale.

16 PACE, GIUSTIZIA E ISTITUZIONI FORTI



Processi di risanamento sostenibili delle acque sotterranee possono concorrere a **RENDERE DISPONIBILE ACQUA DI CARATTERISTICHE IDONEE AD UN USO POTABILE E/O IRRIGUO**. In particolare nei paesi in via di sviluppo l'acqua a è diventata una risorsa sempre più scarsa costituendo la ragione di conflitti e di migrazioni di intere popolazioni.

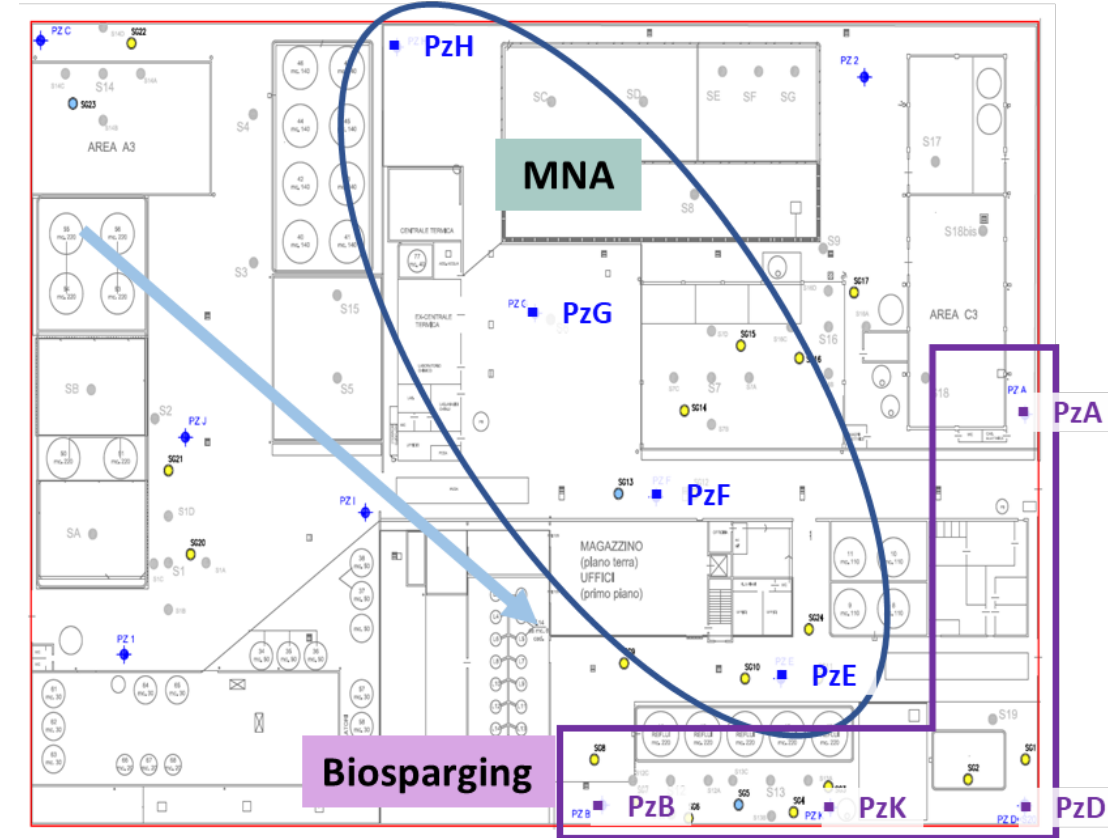
17 PARTNERSHIP PER GLI OBIETTIVI



L'approccio **MNA** può fungere da **CATALIZZATORE** per rafforzare i mezzi di attuazione e rinnovare il partenariato mondiale per lo sviluppo sostenibile, promuovendo la **COOPERAZIONE, L'INNOVAZIONE E LA RESPONSABILITÀ CONDIVISA TRA TUTTI GLI ATTORI COINVOLTI**.

1. **Monitoraggio dell'Attenuazione Naturale (MNA)**, dei solventi clorurati e degli idrocarburi;
2. **Intervento aerobico (BIOSPARGING) sul confine idrogeologicamente di valle** per la precipitazione dei metalli e la biodegradazione aerobica di BTEX.

**(PoB approvato nel 2020)**



**Tecnologia di intervento che risponde ai requisiti di compatibilità ambientale, economica e sociale che definiscono la sostenibilità degli interventi di bonifica**

Tecnologia di intervento applicabile nel caso sia dimostrata, attraverso diverse **linee di evidenza**, la presenza dei presupposti per il raggiungimento degli obiettivi di bonifica

## ANALISI IDROCHIMICHE

### **Analisi idrochimiche:**

- valutare la diminuzione della concentrazione dei contaminanti target nel tempo
- valutare i parametri di campo (DO, Redox, ecc... che influenzano i processi biologici)

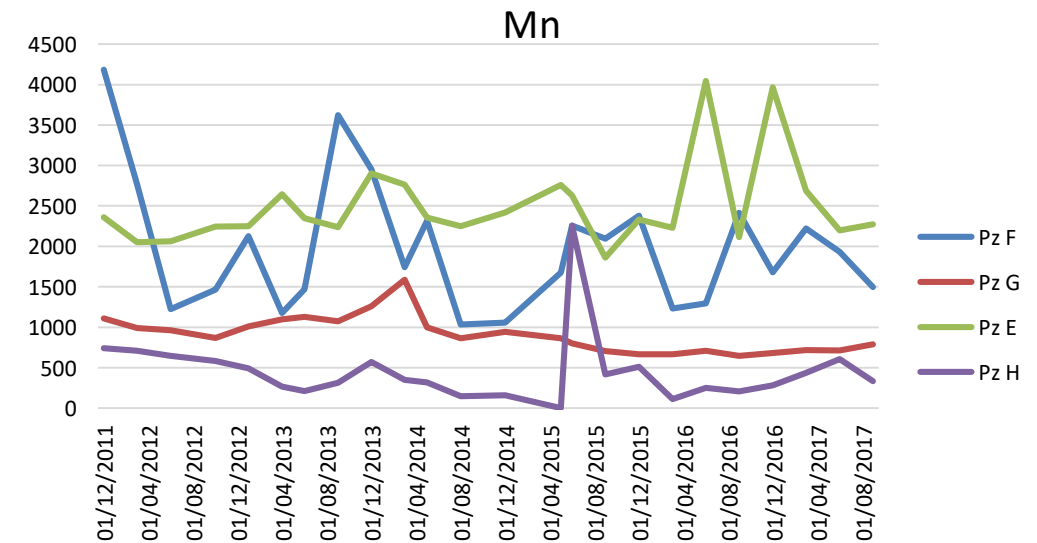
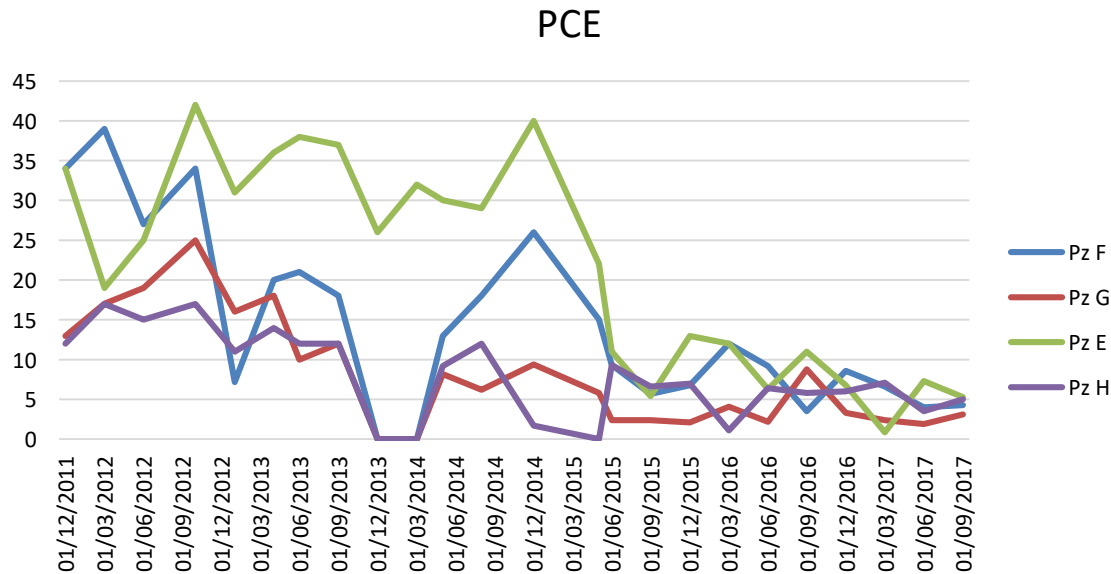
## ANALISI BIOMOLECOLARI

### **Analisi biomolecolari ed isotopiche:**

- identificare specifici meccanismi di biodegradazione
- identificare i microrganismi responsabili di tali processi
- stimare la velocità dei processi biodegradativi

## ANALISI ISOTOPICHE

- La non conformità al POC è determinata da superamenti delle CSC per alcuni **metalli (Mn, Fe), etileni clorurati** e altri contaminanti quali **Benzene**.
- La presenza degli etileni clorurati è legata in particolare alla presenza del **PCE** le cui concentrazioni sono progressivamente diminuite nel tempo, ma ancora oltre le CSC nel 2017.



- **ANALISI SEQUENZIAMENTO (NGS)**

- gene 16S rRNA batterico

- **ANALISI qPCR**

- geni tassonomici e funzionali specifici di alcuni processi metabolici

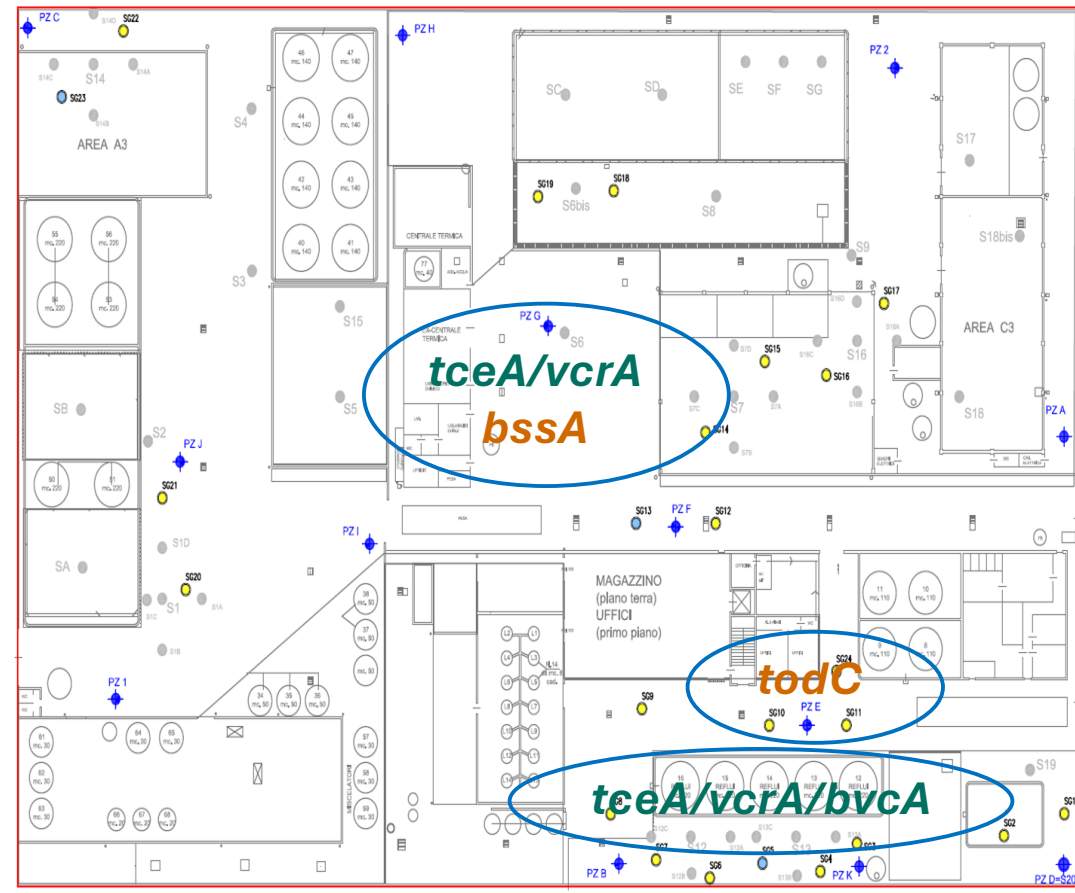
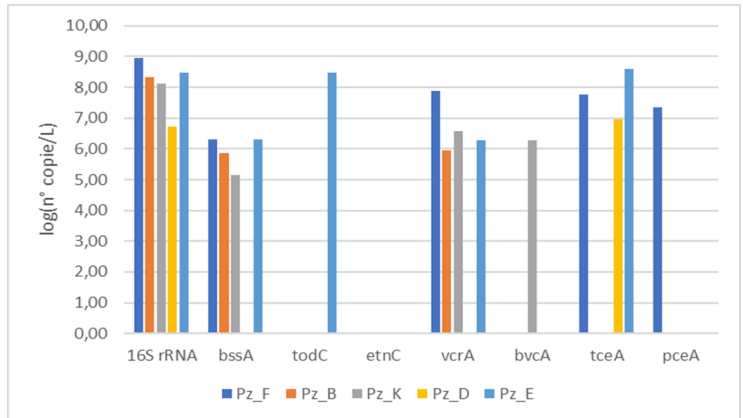
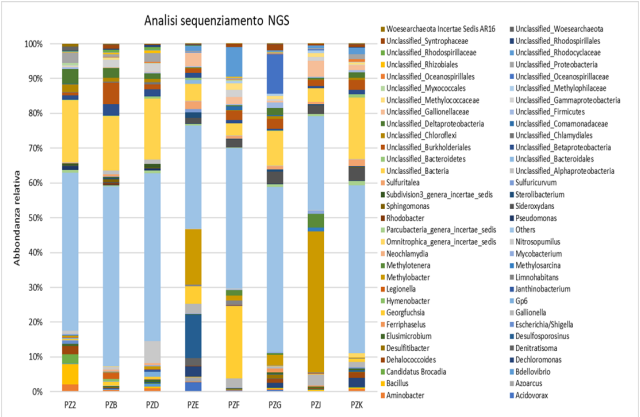
<b>Marcatore molecolare (gene)</b>	<b>Gruppo/metabolismo microbico target</b>
16S rRNA batterico	batteri totali
16S rRNA ssp. <i>Dehalococcoides</i> ssp.	batteri appartenenti al genere <i>Dehalococcoides</i> ssp.
<i>pceA</i>	marcatore della declorazione riduttiva del PCE a TCE
<i>tceA</i>	marcatore della declorazione riduttiva del TCE a DCE o DCE a VC
<i>vcrA/bvcA</i>	marcatori della declorazione riduttiva del VC ad etilene
<i>bssA</i>	marcatore del processo di degradazione anaerobica degli idrocarburi aromatici a singolo anello - BTEX
<i>todC</i>	marcatore del processo di degradazione aerobica degli idrocarburi aromatici a singolo anello - BTEX

# Caratterizzazione biomolecolare (2017-2018)



Presenza di gruppi batterici (analisi **NGS**) e di metabolismi (analisi **qPCR**) in grado di intervenire nella degradazione dei contaminanti target:

- Potenziale naturale per la degradazione **aerobica** dei **BTEXs** nelle aree al confine del sito;
- Potenziale naturale per la degradazione **anaerobica** tramite **declorazione riduttiva** dei **solventi clorurati** al centro del sito.



- Presenza di **Dehalococcoides ssp.**
- Presenza di generi batterici anaerobi: **Gallionella, Georgfuchsia, Sideroxydans, Desulfitibacter, Desulfosporosinus**

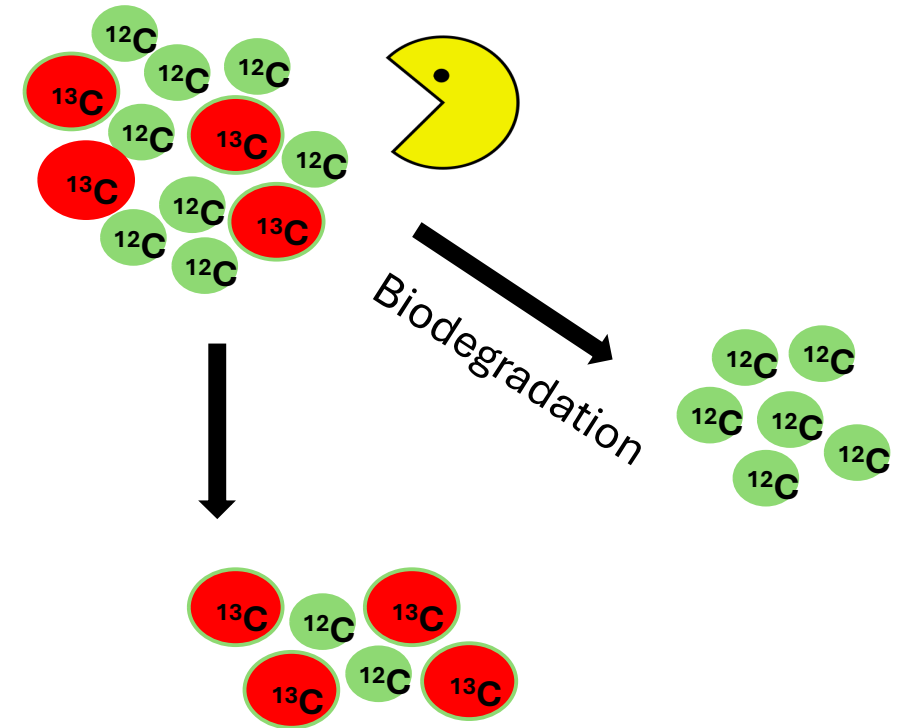


Valutazione dei processi biodegradativi attivi in un sito combinando **l'approccio Isotopico** e **l'approccio Biomolecolare**

## Perché?

Molte reazioni mediate biologicamente tendono a favorire gli isotopi più leggeri ( $^{12}\text{C}$  e/o  $^{35}\text{Cl}$ ) causando un progressivo arricchimento dell'isotopo più pesante ( $^{13}\text{C}$  e/o  $^{37}\text{Cl}$ ) nella contaminazione residua.

(i batteri “preferiscono” utilizzare molecole contenenti isotopi leggeri piuttosto che pesanti!)



Questi fenomeni sono noti come “**frazionamento**” e consentono di valutare, in taluni casi anche con un approccio quantitativo, i processi di biodegradazione che il contaminante ha subito

**FRAZIONAMENTO ISOTOPICO: strettamente correlato alle reazioni e agli enzimi coinvolti nei processi biodegradativi**

Monitoraggio (idro)chimico, isotopico e microbiologico con cadenza semestrale



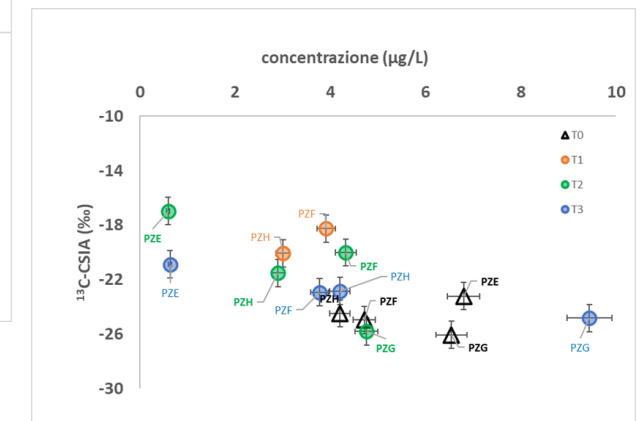
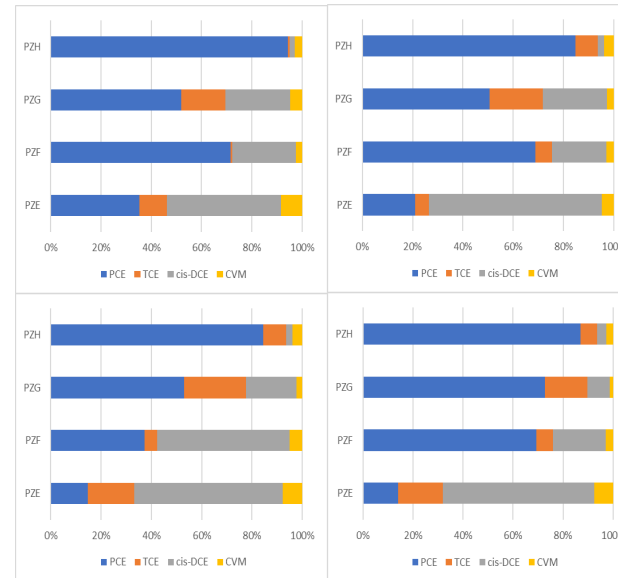
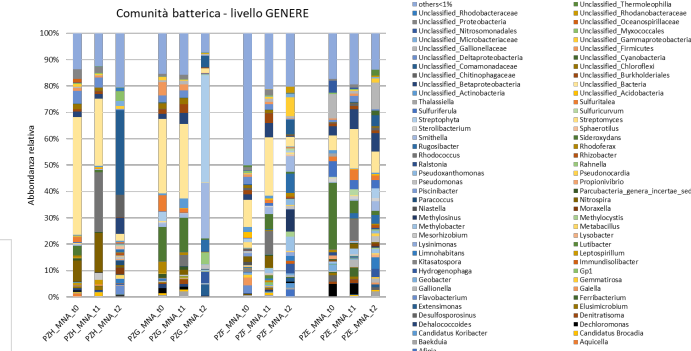
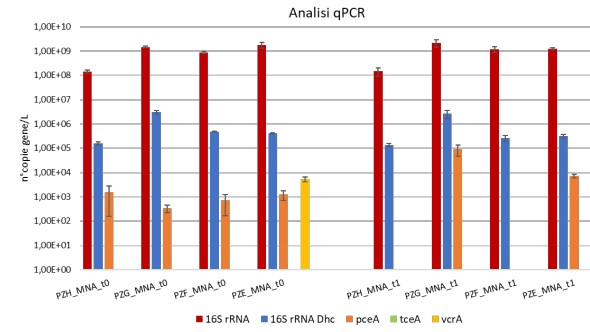
Piezometri di monitoraggio: **PZH, PZG, PZH, PZE**



	parametri
<b>Analisi chimiche</b>	PCE, TCE, 1,2-cis-DCE, 1,2-trans-DCE, CVM, Fe, Mn
<b>Analisi qPCR</b>	16S rRNA batterico; 16S rRNA Dehalococcoides spp., pceA, tceA, vcrA, bvcA
<b>Analisi sequenziamento</b>	16S rRNA batterico
<b>Analisi isotopiche</b>	$\delta^{13}\text{C}$ -CVM, $\delta^{13}\text{C}$ - 1,1-DCE, $\delta^{13}\text{C}$ - trans-1,2-DCE, $\delta^{13}\text{C}$ - cis-DCE, $\delta^{13}\text{C}$ - TCE, $\delta^{13}\text{C}$ - PCE

L'applicazione combinata di analisi IDROCHIMICHE, BIOMOLECOLARI ed ISOTOPICHE ha permesso di provare su linee di evidenza diverse e indipendenti l'efficacia dei fenomeni di **ATTENUAZIONE NATURALE** presenti in sito:

- 1) Elevata attività metabolica di batteri anaerobi che ha determinato una significativa riduzione delle concentrazioni dei contaminanti target (**ANALISI BIOMOLECOLARI**)
- 2) Frazionamento  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  attribuibile esclusivamente a processi biodegradativi di declorazione riduttiva nella parte centrale del sito (**ANALISI ISOTOPICHE**)
- 3) Riduzione della concentrazione dei solventi clorurati fino al raggiungimento degli obiettivi di bonifica (**ANALISI IDROCHIMICHE**)





Tatiana Stella

Anna Espinoza

Francesca Formicola

Andrea Franzetti

**GRAZIE**



Fabio De Palma

Laura Ferrari

Cristian Nielsen

