

ETRA S.p.A.



BONIFICA DI TERRENI E FALDE INQUINATE DA CROMO ESAVALENTE

**EX GALVANICA P.M.
TEZZE SUL BRENTA (VI)**

TEST DI TRATTABILITA' IN SITU

- ESITI -



TIPO DOCUMENTO	Relazione Tecnica
N° DOC	SA.SW.01
TITOLO	ESITI DEL TEST DI TRATTABILITA' IN SITO

PREPARATO DA	Simone Anzini
CONTROLLATO DA	Alberto Venegoni
APPROVATO DA	Davide Zecchini



Produzione Idrogeno Ossigeno S.r.l.
Il Direttore Business Use Liquid TM
Davide Zecchini

14/3/2014

REGISTRAZIONE DELLE MODIFICHE		
EDIZIONE	DATA	OGGETTO DELLA MODIFICA
1	11/03/2014	Prima edizione preliminare
2	14/03/2014	Seconda edizione approvata

SOMMARIO

1	PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO.....	5
1.1	PREMESSA	5
1.2	MODELLO CONCETTUALE	6
1.3	PRINCIPIO DEL METODO	7
1.4	OPERE PREVISTE.....	8
1.5	PROCEDURE PER LA RACCOLTA DEI DATI AMBIENTALI.....	9
2	REALIZZAZIONE DEGLI IMPIANTI SOTTOSUOLO	10
2.1	POZZI MULTILIVELLO DI INIEZIONE E MONITORAGGIO	11
2.2	PIEZOMETRI DI MONITORAGGIO.....	15
2.3	PUNTI DI MONITORAGGIO GAS SUB-SLAB	16
3	REALIZZAZIONE DEGLI IMPIANTI SOPRASUOLO.....	17
3.1	DESCRIZIONE IMPIANTISTICA	17
3.1.1	<i>Stoccaggio dei gas singoli</i>	19
3.1.2	<i>Modulo di miscelazione</i>	19
3.1.3	<i>Impianto di distribuzione</i>	20
3.1.4	<i>Quadri gas</i>	20
4	MODALITÀ DI CONDUZIONE DEL TEST DI BONIFICA	21
4.1	DESCRIZIONE DEL PROCESSO	21
4.1.1	<i>Basi Scientifiche</i>	21
4.1.2	<i>Equilibrio nelle Reazioni Redox</i>	24
4.1.3	<i>Verifica della reazione in un caso pratico</i>	25
4.1.4	<i>Caratteristiche chimico fisiche dell'idrogeno e della miscela utilizzata</i>	26
4.2	CALIBRAZIONE DEL SISTEMA – START UP	27
4.3	CONDUZIONE DEL TEST – INSUFFLAGGIO MISCELA RIDUCENTE	27
5	RACCOLTA DEI DATI AMBIENTALI	28
5.1	MONITORAGGIO DEI GAS INTERSTIZIALI	28
5.1.1	<i>Modalità di campionamento</i>	28
5.1.2	<i>Frequenza di monitoraggio</i>	29
5.1.3	<i>Metodologia di analisi</i>	29
5.2	MONITORAGGIO DEI TERRENI.....	29
5.2.1	<i>FASE 1 – Monitoraggio Ante-operam</i>	29
5.2.2	<i>FASE 2 – Monitoraggio post-operam</i>	32
5.3	MONITORAGGIO DELLE ACQUE DI FALDA.....	33
5.3.1	<i>Modalità di campionamento</i>	34
5.3.2	<i>Fase 1 - Monitoraggio ante-operam</i>	34
5.3.3	<i>Fase 2 - Frequenza del monitoraggio in operam</i>	34
5.3.4	<i>Fase 3 - Frequenza del monitoraggio post-operam</i>	35
5.3.5	<i>Metodologia di analisi</i>	35
6	ESITI DEL MONITORAGGIO DELLE MATRICI AMBIENTALI	36
6.1	MONITORAGGIO DEI GAS INTERSTIZIALI.....	36
6.2	MONITORAGGIO DEI TERRENI.....	37
6.2.1	<i>Monitoraggio Ante-operam</i>	37
6.2.2	<i>Monitoraggio Post-operam</i>	39
6.2.3	<i>Confronto dei risultati</i>	40
6.3	MONITORAGGIO DELLE ACQUE DI FALDA.....	46
6.3.1	<i>Monitoraggio Ante-operam</i>	46
6.3.2	<i>Monitoraggio In Operam</i>	47

6.3.3	Monitoraggio Post-operam	74
6.3.4	Monitoraggio Barriera idraulica.....	75
6.3.5	Considerazioni riassuntive.....	79
7	CONCLUSIONI E VALUTAZIONE DEI RISULTATI OTTENUTI.....	80

ELENCO ALLEGATI

ALL. 1	– UBICAZIONE DEI PUNTI DI MONITORAGGIO
ALL. 2A	– SCHEMA DI INSTALLAZIONE DEI POZZI MULTILIVELLO DI INSUFFLAGGIO E MONITORAGGIO
ALL. 2B	– SCHEMA DI INSTALLAZIONE DEL POZZO MULTILIVELLO DI MONITORAGGIO
ALL. 2C	– SCHEMA DI INSTALLAZIONE DEI PIEZOMETRI
ALL.3	- STRATIGRAFIE DEI SONDAGGI GEOGNOSTICI
ALL.4	- FOTO DELLE CASSETTE CATALOGATRICI
ALL.5	- SCHEMA DEGLI IMPIANTI SOPRASUOLO
ALL.6	- GAS INTERSTIZIALI - TAVOLA SINOTTICA DELLE ANALISI DI LABORATORIO
ALL.7	- TERRENI - TAVOLA SINOTTICA DELLE ANALISI DI LABORATORIO
ALL.8	- ACQUE DI FALDA - TAVOLA SINOTTICA DELLE ANALISI DI LABORATORIO
ALL.9	- DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

ALLEGATI SU CD-ROM

ALL.10	- GAS INTERSTIZIALI – CERTIFICAZIONI ANALITICHE DI LABORATORIO
ALL.11	- TERRENI - CERTIFICAZIONI ANALITICHE DI LABORATORIO
ALL.12	- ACQUE DI FALDA - CERTIFICAZIONI ANALITICHE DI LABORATORIO

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1-1</i>	<i>– Obiettivi di bonifica (CSR terreno)</i>	<i>6</i>
<i>Figura 2-1</i>	<i>– Schema diffusore</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2-2</i>	<i>– Realizzazione pozzetto di monitoraggio sub-slab.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 6-1</i>	<i>– Concentrazione di Idrogeno nei gas interstiziali rilevata nei punti di monitoraggio sub-slab</i>	<i>36</i>
<i>Figura 6-2</i>	<i>- Analisi terreno Tal Quale – Distribuzione del Cr VI con la profondità</i>	<i>41</i>
<i>Figura 6-3</i>	<i>- Analisi terreno Tal Quale – Distribuzione del Cr tot con la profondità.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 6-4</i>	<i>- Analisi terreno Tal Quale – Distribuzione del rapporto Cr tot/Cr VI con la profondità</i>	<i>42</i>
<i>Figura 6-5</i>	<i>- Analisi terreno Tal Quale – riduzione percentuale del Cr VI con la profondità.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 6-6</i>	<i>– Test di lisciviazione – Cessione del parametro Cr VI - Confronto Ante e Post Operam</i>	<i>44</i>
<i>Figura 6-7</i>	<i>- Test di lisciviazione – Cessione del parametro Cr tot - Confronto Ante e Post Operam.....</i>	<i>45</i>

<i>Figura 6-8 – Soggiacenza della falda – monitoraggio in operam.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 6-9 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Cromo VI (Pz1, Pz3, Cr12).....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 6-10 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Cromo VI (Pz2).....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 6-11 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Cromo VI (particolare).....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 6-12 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Riduzione percentuale Cromo VI.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 6-13 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Cromo totale (Pz1, Pz3, Cr12).....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 6-14 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Cromo tot (Pz2).....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 6-15 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Cromo tot (particolare).....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 6-16 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Nichel.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 6-17 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Arsenico.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 6-18 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Manganese.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 6-19 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Ferro.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 6-20 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Piombo.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 6-21 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Mercurio.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 6-22 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Bario.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 6-23 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Molibdeno.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 6-24 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – pH.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 6-25 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Conducibilità elettrica.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 6-26 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Ossigeno disciolto.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 6-27 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Potenziale Redox.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 6-28 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Alcalinità.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 6-29 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – COD.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 6-30 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – COT.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 6-31 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Solfati.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 6-32 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Fosfati.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 6-33 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Barriera idraulica.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 6-34 - Analisi acque di falda – Barriera idraulica - Serie storica 2012-2013.....</i>	<i>76</i>

1 PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO

1.1 PREMESSA

Nell'ambito della progettazione degli **interventi di bonifica del sito Ex- Galvanica PM a Tezze sul Brenta (VI)**, con specifico riferimento all'iter progettuale che prevede una fase di test pilota per la definizione delle tecnologie da adottarsi per la realizzazione della bonifica del Sito, l'**Amministrazione Comunale di Tezze sul Brenta** ha incaricato la Società **Golder Associates** di progettare un campo prove che prevede l'iniezione di reagenti chimici e la cinturazione perimetrale con diaframma impermeabile, da realizzarsi sotto la propria direzione lavori.

La fase di test pilota ha compreso anche la valutazione dei risultati di un test inerente una tecnologia di trattamento della falda e del terreno denominata **Soilution** che prevede l'insufflaggio in falda di una miscela riducente di idrogeno in corrente di azoto messa a punto e brevettata dalla società **Sapio Produzione Idrogeno Ossigeno Srl**, da realizzarsi in concomitanza con i test pilota per le tecnologie di bonifica incluse nel progetto di Golder.

La tecnologia è coperta da Brevetto nr. 1371632 del 08 Marzo 2010 depositato a nome di Fabio Longoni.

L'esecuzione del test pilota con tecnologia denominata **Soilution** è stata affidata dalla società **Etra S.p.A.** alla medesima società **Sapio S.r.l.**

Per l'esecuzione del test **SAPIO S.r.l.** si è avvalsa della Società ausiliaria **SOIL WATER S.r.l.**: nello specifico, SAPIO Srl si è occupata della realizzazione degli impianti soprasuolo e della conduzione operativa del test mentre **SOIL WATER Srl**, società specializzata nelle tecnologie di bonifica del sottosuolo dotata di iscrizione all'Albo Gestori Ambientali – Cat. 9D, si è occupata della conduzione tecnica del test unitamente alla realizzazione degli impianti sottosuolo e dei monitoraggi ambientali inerenti le matrici terreno e acqua di falda.

Al fine di garantire la confrontabilità dei risultati del campo prove della tecnologia **Soilution** con i test di trattamento di cui al progetto Golder e rendere omogenea la raccolta dati dei diversi operatori coinvolti, Golder ha elaborato e trasmesso a Sapio il memorandum tecnico *“Procedure tecniche per la raccolta di dati ambientali - Test pilota per l'iniezione di idrogeno in falda (Sapio) – ex-Galvanica PM – Tezze sul Brenta”* (rif. Golder n.C1126, 31/01/2011) che riporta le procedure tecniche per la raccolta di dati ambientali da applicare al campo prove realizzato da Sapio, successivamente integrato dal documento rif. Golder n. C4121T/11, Maggio 2011.

I lavori per la realizzazione degli impianti sono stati eseguiti in conformità ai contenuti del **PROGETTO PRELIMINARE di TEST DI TRATTABILITÀ** redatto da SAPIO nei seguenti periodi:

- tra il 24/10/2012 ed il 13/11/2012 sono stati realizzati gli impianti sottosuolo (n.3 punti di insufflaggio e monitoraggio gas, n.1 punto di monitoraggio gas, n.3 postazioni sub slab, n.2 piezometri),
- nel Febbraio 2013 sono stati installati e collegati gli impianti soprasuolo (stoccaggio gas, impianto di miscelazione e distribuzione).

Il test pilota oggetto del presente documento ha avuto inizio in data 15/04/2013 con l'attivazione dell'impianto di insufflaggio ed il campionamento delle matrici ambientali corrispondente allo start-up ed è stato condotto per n.6 mesi non consecutivi in relazione alla sospensione per inaccessibilità al cantiere decretata dal Coordinatore per la Sicurezza di ETRA S.p.A. nel periodo compreso tra il 16/08/2013 ed il 09/10/2013.

Su tale base, il termine del test è avvenuto in data 29/12/2013 in occasione dell'esaurimento delle scorte di gas insufflato.

Il presente documento costituisce il **REPORT FINALE DEL TEST DI TRATTABILITÀ IN SITU** comprendente la descrizione delle attività svolte e dei risultati conseguiti.

1.2 MODELLO CONCETTUALE

Il modello concettuale del Sito in esame è stato formulato a seguito di successive fasi di indagini condotte presso l'area negli ultimi dieci anni.

Le indagini preliminari sono state effettuate presso il Sito nel corso del 2003 sulla base degli elementi conoscitivi acquisiti durante i sopralluoghi effettuati nel periodo precedente dal personale ARPAV

Le indagini preliminari hanno previsto l'esecuzione di sondaggi (P2, P3, P4, P5, P5bis, P6, P7), con il prelievo di campioni per le analisi sui terreni, nonché il prelievo di campioni di sedimento da pozzetti di raccolta acque meteoriche (P1, PS, P, P8).

Gli esiti delle indagini sono contenute nel documento "Indagine ambientale-Relazione descrittiva; Area Roggia Brotta, Area Ditta Industria Galvanica P.M.", redatta da ArpaV.

Facendo seguito alla contaminazione da metalli riscontrata nei terreni campionati, l'ArpaV ha incaricato ditte specializzate per l'esecuzione di n.6 piezometri (G1-G6) all'interno dell'azienda (alcuni dei quali utilizzati per le successive attività di Messa in Sicurezza di Emergenza) e n.2 piezometri di monitoraggio (Pz7-Pz8) ubicati all'interno degli impianti sportivi del Comune, nonché della realizzazione di una trincea esplorativa in prossimità dell'area di ubicazione delle vasche galvaniche.

Il Piano di Caratterizzazione (PdC) relativo al sito della ditta Galvanica PM è stato predisposto da ArpaV nel Febbraio 2005.

Il documento ha previsto, ad integrazione delle attività di indagine già svolte, l'esecuzione di ulteriori 12 trincee superficiali (1-2 m di profondità) con il prelievo di campioni di terreno e relative analisi.

In attuazione di quanto previsto nel PdC e di quanto concordato fra le Pubbliche Autorità nelle riunioni tenutesi nel corso del 2005, sono state realizzate n.14 trincee esplorative ed ulteriori carotaggi a secco per il prelievo di campioni di terreno e relative analisi. E' stata inoltre ampliata la rete di piezometri per il monitoraggio delle acque di falda, sino alla realizzazione di un numero complessivo di 18 piezometri (G1-G18).

Il complesso delle analisi eseguite nell'ambito della caratterizzazione del Sito ha evidenziato:

- il superamento delle CSC per i parametri Cromo totale, Cromo VI, Nichel, Piombo in corrispondenza dei primi 5 m di profondità dal p.c.;
- il superamento delle CSC per il parametro Cromo VI a profondità superiori.

Le analisi eseguite sulle acque di falda prelevate in corrispondenza dei piezometri presenti nel sito nell'ottobre 2005 hanno evidenziato per i suddetti parametri superamenti dei limiti normativi anche nelle acque di falda.

L'Analisi di Rischio sito specifica, redatta nel maggio 2007 dallo Studio Tedesi sulla base delle risultanze delle precedenti fasi di indagine ed approvata in Conferenza dei Servizi del 18/10/2007, è stata sviluppata per i terreni insaturi e saturi con l'obiettivo del rispetto delle CSC immediatamente a valle idrogeologico del sito.

L'Analisi di Rischio ha permesso di determinare le Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) per i terreni saturi ed insaturi, evidenziando "la necessità di intervenire in modo mirato nella zona di oscillazione della falda nella sua porzione contaminata (indicativamente fra 22 e 25 m dal p.c.)", in quanto le CSR calcolate per Cromo VI e Nichel per tale orizzonte sono risultate significativamente inferiori alle rispettive CSC per terreni ad uso residenziale.

Gli obiettivi della bonifica per i terreni sono stati calcolati utilizzando due approcci differenti. Nel primo approccio sono state calcolate le CSR imponendo il rispetto delle concentrazioni soglia di contaminazione per le acque di falda (CLA=MCL) al confine del Sito; nel secondo approccio sono state calcolate le CSR per il rischio sanitario legato alle possibili vie di esposizione. Nella seguente tabella sono riportati in verde i valori di CSR maggiormente cautelativi calcolati nell'AdR (Studio Tedesi, 2007).

	Insaturo (0-22m da p.c.)		Saturo (22-25m da p.c.)	
	CSR da MCL	CSR da Rischio	CSR da MCL	CSR da Rischio
Cromo VI (mg/Kg)	5.3E+03	3.7E+04	6.2E-01	2.7E+01
Cromo Tot (mg/Kg)	1.0E+06	1.0E+6	1.0E+06	1.0E+06
Nichel (mg/Kg)	7.2E+04	4.6E+04	8.6E+00	1.1E+01
Piombo (mg/Kg)	3.0E+04	1.0E+06		

Figura 1-1 – Obiettivi di bonifica (CSR terreno)

L'obiettivo di bonifica per le acque sotterranee è stabilito pari alle rispettive concentrazioni limite di cui al D.lgs. 152/06. In particolare, tale limite è pari a 5,0 µg/l per il Cromo VI e 50,0 µg/l per il Cromo totale.

Sulla base della tipologia di contaminazione, con particolare riferimento alle CSR relative al Cromo VI che confermano l'elevata criticità del contaminante, la metodologia di trattamento **Soilution** appare efficacemente applicabile al sito in esame in quanto il processo utilizzato si basa sulla stabilizzazione geochimica del Cromo ottenuta attraverso la riduzione a Cromo III del Cromo VI a mezzo di una miscela di gas tecnici insufflati direttamente nel terreno e posti in contatto con il contaminante presente sia nella matrice terreno che nelle acque di falda.

1.3 PRINCIPIO DEL METODO

La metodologia di bonifica denominata **Soilution**, brevettata da SAPIO e sviluppata in collaborazione con SOIL WATER Srl e DEFAR Srl per il trattamento di terreni ed acque contaminate da cromo esavalente, si basa su un processo che utilizza come agente riducente l'idrogeno gassoso in corrente di azoto con una concentrazione sotto il punto di infiammabilità.

Tale tecnologia è classificabile come una *Stabilizzazione geochimica* del cromo, realizzata con un impianto di *Gas Sparging*.

Il gas si diffonde con facilità sia negli orizzonti saturi che insaturi (anche attraverso livelli scarsamente permeabili), come testimoniato dagli esiti dei numerosi test condotti in circa quattro anni di sperimentazione e resi noti unitamente alla tecnologia.

L'impiego di sostanze presenti già naturalmente nelle matrici ambientali non ha di fatto nessun sottoprodotto di reazione potenzialmente pericoloso e/o nocivo.

Tale tecnologia scarsamente invasiva (i punti di insufflaggio dei gas vengono installati in fori di sondaggio di piccolo diametro) e non prevede la produzione di rifiuti da smaltire.

La tecnologia di bonifica di acquiferi e terreni inquinati da Cromo^{VI} adottata e sperimentata, si basa fondamentalmente su un processo in situ di stabilizzazione geochimica mediante riduzione del cromo esavalente.

Il processo mira quindi alla riduzione chimica del Cr^{VI}, adsorbito nel terreno nell'orizzonte saturo e insaturo e in soluzione nelle acque di falda, a Cr^{III}, tramite una reazione innovativa per l'applicazione ambientale, utilizzando reagenti a bassissimo impatto e già presenti naturalmente nelle matrici.

I prodotti di reazione, tranne il cromo trivalente, sono innocui e la reazione risulta molto selettiva, lasciando inalterati gli altri componenti naturalmente presenti nel sottosuolo.

Il processo porta alla riduzione pressoché completa del Cromo^{VI} a Cromo^{III} e quindi alla sostanziale riduzione della tossicità di tutte le matrici contaminate.

I vantaggi principali del metodo sono:

- Trasformazione di un inquinante molto mobile e cancerogeno in un metallo pesante sostanzialmente stabile e difficilmente in grado di migrare nell'acquifero senza creazione di rifiuti da mobilizzare e smaltire.
- Possibilità di intervenire in prossimità delle zone ad alta concentrazione di Cromo^{VI} per attenuare ed abbassare velocemente la concentrazione nel plume.
- Utilizzo di sostanze chimiche in forma gassosa già presenti in natura, che dopo la riduzione del cromo si liberano senza nessun apporto di sostanze esogene alle matrici ambientali del sito già fortemente condizionate.
- Relativa semplicità di installazione (non si limita e modifica l'uso del sito)
- Efficacia sia sulle acque di falda sia sui terreni in modo indipendente da profondità e grado di permeabilità.

La reazione porta alla pressoché totale conversione del Cr^{VI} a Cr^{III} poiché sfrutta le diverse caratteristiche di solubilità, adsorbimento sulla matrice solida, mobilità e comportamento chimico delle due specie ioniche in fase liquida e in fase solida.

La differenza essenziale è che il Cr^{VI} si trova come anione molto solubile in acqua e quindi mobile lungo il fronte della falda, mentre Cr^{III} a pH>5 è essenzialmente insolubile e inoltre complessa facilmente con alcuni composti fissandosi allo scheletro solido.

La reazione applicata è una riduzione del Cr^{VI} ad opera dell'idrogeno gassoso, associata ad una complessazione del Cr^{III} prodotto con la materia organica presente naturalmente nel terreno (i composti

organici sono donatori di elettroni e dei forti chelanti che producono complessi con strutture chimiche ramificate più facilmente adsorbibili).

Si ricorda che il principale reagente in uso è l'idrogeno, normalmente presente in natura, che ha queste importanti peculiarità:

- Gas infiammabile per tenori superiori al 4% in aria
- Gas asfissiante in alta concentrazione, ma non tossico
- È l'elemento chimico più leggero e dotato di piccolo raggio atomico
- L'idrogeno atomico, detto anche idrogeno attivo, manifesta un potere riducente estremamente marcato nei confronti di molti composti chimici quali ossidi, alogenuri, metalli alcalini, metalli
- La sua densità relativa è 0,07 Kg/m³ (per l'aria è 1): è quindi un gas ad altissima diffusività e attraversa le porosità anche dei metalli (a titolo di esempio, la diffusività in alluminio=0,88x10⁻⁸m²/s)
- I parametri che regolano il trasporto dell'idrogeno nel terreno saturo ed insaturo sono la diffusività, la porosità e la solubilità

Dovendo intervenire per ridurre il Cromo^{VI} occorre tenere presente alcune caratteristiche essenziali dello stesso, qui di seguito elencate:

- Il Cr^{VI} nelle acque di falda è presente come ione cromato CrO₄⁼ o bicromato Cr₂O₇⁼;
- La concentrazione relativa tra le due specie dipende dal pH dell'acqua contaminata e dalla concentrazione totale di Cr^{VI};
- Nelle due forme il Cr^{VI} è un fortissimo ossidante e come tale viene ridotto in presenza di elettroni donatori;
- Nel terreno saturo / insaturo si devono considerare parametri fondamentali come:

coefficiente di distribuzione:	19 l/kg per il Cr ^{VI} ;	1,8x 10 ⁶ per il Cr ^{III}
solubilità:	>10 ⁶ µg/l per il Cr ^{VI} ;	50 per il Cr ^{III}
- sostanzialmente la riduzione da Cr^{VI} a Cr^{III} è irreversibile.

In sintesi, nella presente sperimentazione il riducente utilizzato è una miscela di gas non pericolosa con la capacità di ridurre completamente ed in modo permanente il cromo esavalente a cromo trivalente nelle acque di falda e nei terreni interessati dall'inquinamento.

1.4 OPERE PREVISTE

L'esecuzione del test di trattabilità in situ di cui al citato documento progettuale SAPIO ha previsto le seguenti fasi di lavoro ed attività:

FASE DI CANTIERE

- Realizzazione di n.3 impianti sottosuolo costituiti da un diffusore per l'insufflaggio della miscela riducente e da n.3 pozzi multilivello per il contestuale monitoraggio dei gas interstiziali e n.1 pozzo multilivello di monitoraggio dei gas ubicato in posizione baricentrica e n.3 postazioni sub-slab;
- Realizzazione di n.2 piezometri di monitoraggio della falda;
- Raccolta di dati ambientali inerenti le matrici terreno e acqua di falda (campioni per la caratterizzazione chimica ante-operam);
- Realizzazione degli impianti soprasuolo finalizzati alla somministrazione della miscela riducente di idrogeno-azoto al sistema di immissione nel terreno, costituiti dai serbatoi di stoccaggio dei gas, dal sistema di miscelazione e di distribuzione;
- Collegamento con gli impianti sottosuolo e taratura preliminare degli impianti.

FASE DI CONDUZIONE DEL TEST

- Calibrazione del sistema, modulazione delle portate di miscela insufflata;
- Sostituzione dei pacchi bombola contenenti idrogeno e ricarica del serbatoio azoto liquido;

- Raccolta di dati ambientali inerenti la matrice acqua di falda ed i gas interstiziali secondo le modalità e le cadenze stabilite dal documento "Procedure tecniche per la raccolta di dati ambientali" (rif. Golder n.C1126, Gennaio 2011 e n. C4121T/11, Maggio 2011).

MONITORAGGIO POST-OPERAM

- raccolta di dati ambientali inerenti la matrice terreno mediante l'esecuzione di n.1 sondaggio geognostico;
- Monitoraggio piezometrico ed idrochimico condotto ad intervalli di 2, 15, 30, 90 giorni dallo spegnimento dell'impianto.

1.5 PROCEDURE PER LA RACCOLTA DEI DATI AMBIENTALI

Le procedure per la raccolta dei dati ambientali sono state adottate in conformità con i contenuti dei documenti tecnici di riferimento (rif. Golder n.C1126, Gennaio 2011 e n. C4121T/11, Maggio 2011).

In particolare, le procedure previste per le matrici ambientali, trattate nel dettaglio nei successivi capitoli, vengono di seguito sintetizzate:

monitoraggio dei gas in aria interstiziale

Il test pilota effettuato con tecnologia **Soilution** ha previsto un monitoraggio planimetrico della distribuzione del gas iniettato nell'aria interstiziale per la calibrazione del trattamento e per la verifica delle condizioni di sicurezza. A tale scopo si è provveduto al campionamento dei gas interstiziali in corrispondenza dei n.4 pozzi multilivello e dei punti di campionamento sub-slab.

Il campionamento è stato effettuato dai tecnici SAPIO, su procedure predisposte dal laboratorio incaricato alle analisi Lab Analysis Srl di Casanova Lonati (PV), in idonei sacchetti per la raccolta dei gas, mediante pompa di aspirazione collegata a ciascuno dei n.19 punti di monitoraggio (n.16 in corrispondenza dei pozzi multilivello e n.3 punti sub-slab).

I campioni prelevati nel periodo compreso tra il 15/04/2013 ed il 27/12/2013 sono stati sottoposti ad analisi di laboratorio per la ricerca dei parametri H₂, CO₂, O₂, N₂ (cfr. **ALL. 10 su CD-ROM**).

Secondo il protocollo di monitoraggio di cui ai citati documenti Golder, la frequenza di monitoraggio è stata prevista oraria nel corso delle prime 8 ore di iniezione, giornaliera per la prima settimana di insufflazione, settimanale per il mese successivo ed infine mensile, fino al termine dell'insufflaggio.

monitoraggio dei terreni

Il protocollo di monitoraggio dei terreni ha previsto due fasi di campionamento:

- il campionamento *ante-operam* è stato effettuato in occasione della realizzazione degli impianti sottosuolo; nello specifico, è stato previsto quanto segue:
 - n.9 campioni prelevati ad intervalli stabiliti di profondità in corrispondenza del sondaggio I2 sono stati sottoposti ad analisi di laboratorio sul Tal Quale ai sensi del D.lgs. 152/06;
 - n.3 campioni di terreno prelevati in corrispondenza del sondaggio I3, nella zona di oscillazione della falda compresa tra le profondità di 22 e 25 m da p.c. sono stati suddivisi in n.3 aliquote ciascuno (tripletta): tutte le aliquote sono state sottoposte a test di lisciviazione;
- il campionamento *post-operam* ha previsto la realizzazione di n.1 sondaggio geognostico spinto sino alla profondità di 25 m da p.c.: per garantire la massima confrontabilità il prelievo di campioni è stato previsto in corrispondenza dei medesimi intervalli di profondità:
 - n.9 campioni di terreno, prelevati ad intervalli di profondità corrispondenti al campionamento ante-operam, sono stati sottoposti ad analisi di laboratorio sul Tal Quale ai sensi del D.lgs. 152/06;
 - n.3 campioni di terreno prelevati in corrispondenza della zona di oscillazione della falda compresa tra le profondità di 22 e 25 m da p.c. sono stati suddivisi in n.3 aliquote ciascuno (tripletta): tutte le aliquote sono state sottoposte a test di lisciviazione.

monitoraggio delle acque di falda

Il protocollo di monitoraggio delle acque di falda ha previsto tre fasi di campionamento:

- il campionamento *ante-operam* è stato effettuato in occasione della realizzazione degli impianti sottosuolo; nello specifico, è stato previsto quanto segue:
 - n.3 campioni prelevati in corrispondenza dei piezometri Pz1, Pz2 e Pz3 in data 12/11/2012, ovvero, al termine della realizzazione delle opere sottosuolo;
- il campionamento *in operam* ha previsto il prelievo di n.3 campioni di acqua prelevati in corrispondenza dei piezometri Pz1 (sostituito in corso d'opera dal piezometro CR12), Pz2 e Pz3 con la seguente cadenza temporale:
 - una fase iniziale di due settimane con campionamento giornaliero delle acque sui tre pozzi di monitoraggio previsti nell'ambito del campo prove;
 - una fase intermedia della durata di un mese con campionamenti eseguiti su base settimanale;
 - una terza fase a regime che prevede un campionamento ogni 15 giorni per tutta la durata degli interventi.

E' stato inoltre previsto un campionamento a cadenza mensile dei pozzi della barriera idraulica a valle dell'area di intervento.
- il campionamento *post-operam* prevede il prelievo di n.3 campioni di acqua prelevati in corrispondenza dei piezometri CR12, Pz2 e Pz3 con la seguente cadenza temporale:
 - 2, 15, 30 e 90 giorni dallo spegnimento del sistema di insufflaggio.

2 REALIZZAZIONE DEGLI IMPIANTI SOTTOSUOLO

In conformità con i documenti progettuali, la realizzazione degli impianti sottosuolo ha previsto l'esecuzione delle seguenti opere:

- n.3 pozzi multilivello attrezzati per l'iniezione dei gas e per il monitoraggio dei gas interstiziali;
- n.1 pozzo multilivello attrezzato per il monitoraggio dei gas interstiziali;
- n.3 punti di monitoraggio gas sub-slab ubicati in prossimità di ciascun pozzo multilivello;
- n.2 piezometri ad integrazione della rete di monitoraggio esistente.

Gli esiti delle indagini che si sono svolte presso l'area in esame nel corso degli anni, così come documentate dagli elaborati tecnici resi disponibili dal Comune di Tezze e dalla locale ARPA, hanno evidenziato che il focolaio della contaminazione da Cromo, che interessa le matrici terreno e acque sotterranee, risulta individuabile in corrispondenza della zona vasche all'interno dello stabilimento e, subordinatamente, nella zona impianto di depurazione

Su tale base ed in funzione dell'area resa disponibile dalla Direzione Lavori, i punti di insufflaggio sono stati ubicati in un ambito periferico alla zona vasche, che risultano disposte lungo la direttrice Est-Ovest nel settore orientale all'interno dello stabilimento.

L'ubicazione dei punti di insufflaggio e monitoraggio è riportata in **ALL.1**; in particolare, si considera quanto segue:

- I pozzi multilivello di insufflaggio e monitoraggio sono stati disposti ai vertici di un triangolo con interdistanza pari a circa 4,0 – 5,0 m e vertice in direzione opposta al verso di deflusso di falda;
- il pozzo multilivello di monitoraggio è stato ubicato in posizione baricentrica rispetto ai punti di insufflaggio;
- i punti di monitoraggio gas sub-slab sono stati ubicati in prossimità di ciascun pozzo multilivello;
- il piezometro Pz1 è stato ubicato in posizione di "monte idrogeologico" rispetto al campo prove;
- il piezometro Pz2 è stato ubicato in posizione di "valle idrogeologico" rispetto al campo prove.

Di seguito si riportano le specifiche di realizzazione delle singole opere.

2.1 POZZI MULTILIVELLO DI INIEZIONE E MONITORAGGIO

Sono stati realizzati n.4 pozzi multilivello per il monitoraggio dei gas, dei quali n.3 attrezzati per l'insufflaggio della miscela di gas.

I **n.3 pozzi multilivello di iniezione e monitoraggio** sono costituiti da n.1 tubazione da 1"½ contenente il sistema di insufflaggio e n.4 tubi di campionamento dei gas da ½" installati all'interno di un solo foro di diametro 178 mm a scalare 152 mm spinto fino alla profondità di circa 28,0 m da p.c.

Le caratteristiche costruttive dei pozzi multilivello di iniezione e monitoraggio sono le seguenti (cfr. **ALL.2a**):

FORO DI INSTALLAZIONE	
Modalità di perforazione	Rotazione - Carotaggio continuo
Diametro di perforazione	178 mm a scalare 152 mm
Profondità	28,0 m da p.c.
SISTEMA DI INSUFFLAGGIO	
Tubazione	PVC pesante da 1"½ Tratto cieco 27,5 ml (da p.c. a 27,5 m da p.c.) Tratto fenestrato 0,5 ml (da 27,5 a 28,0 m da p.c.)
Riempimento intercapedine Tubazione/foro	Dreno siliceo da 27,5 a 28,0 m da p.c. Impermeabilizzazione con Compactonit da 27,0 a 27,5 m da p.c. Riempimento con mista naturale da 23,0 a 27,5 m da p.c.
Impianto di air sparging	Installazione diffusore a fondo foro Collegamento a p.c. con tubo rilsan ¾" – 28,0 m da p.c.
Riempimento tubazione	dreno siliceo da 27,5 a 28,0 m da p.c. Impermeabilizzazione con Compactonit da 27,0 a 27,5 m da p.c. Riempimento con mista naturale da 23,0 a 27,5 m da p.c.
SISTEMA DI MONITORAGGIO	
LIVELLO DI MONITORAGGIO N.4	Tubazione in PVC cieco diam. ½" da p.c. a 21,5 m da p.c. Tubazione in PVC fenestrato diam. ½" da 21,5 a 22,5 m da p.c. Riempimento: ✓ dreno da 21,3 a 22,7 m da p.c. ✓ Compactonit da 22,7 a 23,0 m da p.c. ✓ Compactonit da 21,0 a 21,3 m da p.c.
LIVELLO DI MONITORAGGIO N.3	Tubazione in PVC cieco diam. ½" da p.c. a 16,5 m da p.c. Tubazione in PVC fenestrato diam. ½" da 16,5 a 17,5 m da p.c. Riempimento: ✓ dreno da 16,3 a 17,7 m da p.c. ✓ Compactonit da 17,7 a 18,0 m da p.c. ✓ Compactonit da 16,0 a 16,3 m da p.c.
LIVELLO DI MONITORAGGIO N.2	Tubazione in PVC cieco diam. ½" da p.c. a 10,5 m da p.c. Tubazione in PVC fenestrato diam. ½" da 10,5 a 11,5 m da p.c. Riempimento: ✓ dreno da 10,3 a 11,7 m da p.c. ✓ Compactonit da 11,7 a 12,0 m da p.c. ✓ Compactonit da 10,0 a 10,3 m da p.c.
LIVELLO DI MONITORAGGIO N.1	Tubazione in PVC cieco diam. ½" da p.c. a 3,5 m da p.c. Tubazione in PVC fenestrato diam. ½" da 3,5 a 4,5 m da p.c. Riempimento: ✓ dreno da 3,3 a 4,7 m da p.c. ✓ Compactonit da 4,7 a 5,0 m da p.c. ✓ Compactonit da 3,0 a 3,3 m da p.c.

Riempimento intercapedine Tubazione/foro tra i livelli	Bentonite da p.c. a 3,0 m da p.c. Mista naturale tra 5,0-10,0/12,0-16,0/18,0-21,0 m da p.c.
---	--

La realizzazione dei pozzi multilivello di iniezione e monitoraggio denominati I1, I2 e I3 ha previsto le seguenti attività consequenziali:

- ✓ Perforazione a mezzo sonda tradizionale del **foro di installazione** delle tubazioni; la perforazione è stata realizzata a carotaggio continuo senza l'ausilio di fluidi di perforazione da p.c. a 28,0 m da p.c.; il diametro di perforazione è stato mantenuto pari a 178 mm fin dove possibile: in relazione alla granulometria del terreno ed all'esigenza di limitare l'uso di fluidi di perforazione è stato necessario procedere alla perforazione con diam.152 mm oltre una profondità limite variabile tra i sondaggi in funzione delle caratteristiche litologiche locali tra 15 e 20 m da p.c.
- ✓ posa in opera della tubazione in PVC da 1"½ per l'alloggio del sistema di insufflaggio; la tubazione è costituita da un tratto fenestrato di 0,5 ml ubicato tra 27,5 a 28,0 m da p.c., la restante porzione è costituita da tubazione cieca;
- ✓ posa in opera del diffusore, calato al fondo della tubazione e collegato alla superficie mediante tubo Rilsan da ¾";
- ✓ riempimento della tubazione con dreno di tipo "glass beads" in corrispondenza del diffusore, ovvero, tra 27,5 a 28,0 m da p.c.; formazione di un anello sigillante di Compactonit di spessore pari a circa 50 cm e riempimento sino a p.c. con materiale granulare;
- ✓ Riempimento dell'intercapedine tra la tubazione ed il foro con dreno siliceo tra 27,5 a 28,0 m da p.c., riempimento con materiale granulare da 27,5 a 23,0 m da p.c.;
- ✓ Realizzazione del livello di monitoraggio n.4 (per il dettaglio delle quote di posa si fa riferimento alla tabella della pagina precedente):
 - formazione dell'anello basale sigillante di spessore pari a circa 30 cm costituito da Compactonit;
 - Installazione tubo in PVC diam. ½" con tratto fenestrato da 21,5 a 22,5 m da p.c. e contestuale posa di dreno siliceo;
 - formazione dell'anello apicale sigillante di spessore pari a circa 30 cm costituito da Compactonit;
- ✓ Riempimento con materiale granulare da 21,0 a 18,0 m da p.c.;
- ✓ Realizzazione del livello di monitoraggio n.3 (per il dettaglio delle quote di posa si fa riferimento alla tabella della pagina precedente):
 - formazione dell'anello basale sigillante di spessore pari a circa 30 cm costituito da Compactonit;
 - Installazione tubo in PVC diam. ½" con tratto fenestrato da 16,5 a 17,5 m da p.c. e contestuale posa di dreno siliceo;
 - formazione dell'anello apicale sigillante di spessore pari a circa 30 cm costituito da Compactonit;
- ✓ Riempimento con materiale granulare da 16,0 a 12,0 m da p.c.;
- ✓ Realizzazione del livello di monitoraggio n.2 (per il dettaglio delle quote di posa si fa riferimento alla tabella della pagina precedente):
 - formazione dell'anello basale sigillante di spessore pari a circa 30 cm costituito da Compactonit;
 - Installazione tubo in PVC diam. ½" con tratto fenestrato da 10,5 a 11,5 m da p.c. e contestuale posa di dreno siliceo;
 - formazione dell'anello apicale sigillante di spessore pari a circa 30 cm costituito da Compactonit;
- ✓ Riempimento con materiale granulare da 10,0 a 5,0 m da p.c.;
- ✓ Realizzazione del livello di monitoraggio n.1 (per il dettaglio delle quote di posa si fa riferimento alla tabella della pagina precedente):
 - formazione dell'anello basale sigillante di spessore pari a circa 30 cm costituito da Compactonit;
 - Installazione tubo in PVC diam. ½" con tratto fenestrato da 3,5 a 4,5 m da p.c. e contestuale posa di dreno siliceo;
 - formazione dell'anello apicale sigillante di spessore pari a circa 30 cm costituito da Compactonit;

- ✓ Riempimento con bentonite da 3,0 m da p.c. a p.c.;
- ✓ realizzazione di pozzetto interato lato 20x20 cm con coperchio.

Tutti i terminali a p.c. (tubo di insufflaggio e tubi di monitoraggio) sono stati attrezzati per il collegamento con le attrezzature di superficie.

In particolare, i tubi di monitoraggio sono stati attrezzati con connettori a sgancio rapido per agevolare i campionamenti.



Figura 2-1 – Schema diffusore

Il **pozzo multilivello di monitoraggio** M1 è costituito da n.1 tubazione da 1”½ contenente n.4 tubi di campionamento dei gas da ½” installati all’interno di un solo foro di diametro 178 mm a scalare 152 mm spinto fino alla profondità di circa 23,0 m da p.c.

Le caratteristiche costruttive dei **pozzi multilivello di iniezione e monitoraggio** sono le seguenti (cfr. **ALL.2b**):

FORO DI ALLOGGIO	
Modalità di perforazione	Rotazione - Distruzione di nucleo
Diametro di perforazione	178 mm a scalare 152 mm
Profondità	23,0 m da p.c.
SISTEMA DI INSUFFLAGGIO	
SISTEMA DI MONITORAGGIO	
LIVELLO DI MONITORAGGIO N.4	Tubazione in PVC cieco diam. ½” da p.c. a 21,5 m da p.c. Tubazione in PVC fenestrato diam. ½” da 21,5 a 22,5 m da p.c. Riempimento: <ul style="list-style-type: none"> ✓ dreno da 21,3 a 22,7 m da p.c. ✓ Compactonit da 22,7 a 23,0 m da p.c. ✓ Compactonit da 21,0 a 21,3 m da p.c.
LIVELLO DI MONITORAGGIO N.3	Tubazione in PVC cieco diam. ½” da p.c. a 16,5 m da p.c. Tubazione in PVC fenestrato diam. ½” da 16,5 a 17,5 m da p.c. Riempimento: <ul style="list-style-type: none"> ✓ dreno da 16,3 a 17,7 m da p.c. ✓ Compactonit da 17,7 a 18,0 m da p.c. ✓ Compactonit da 16,0 a 16,3 m da p.c.
LIVELLO DI MONITORAGGIO N.2	Tubazione in PVC cieco diam. ½” da p.c. a 10,5 m da p.c. Tubazione in PVC fenestrato diam. ½” da 10,5 a 11,5 m da p.c. Riempimento: <ul style="list-style-type: none"> ✓ dreno da 10,3 a 11,7 m da p.c. ✓ Compactonit da 11,7 a 12,0 m da p.c. ✓ Compactonit da 10,0 a 10,3 m da p.c.
LIVELLO DI MONITORAGGIO N.1	Tubazione in PVC cieco diam. ½” da p.c. a 3,5 m da p.c. Tubazione in PVC fenestrato diam. ½” da 3,5 a 4,5 m da p.c. Riempimento: <ul style="list-style-type: none"> ✓ dreno da 3,3 a 4,7 m da p.c. ✓ Compactonit da 4,7 a 5,0 m da p.c.

	✓ Compactonit da 3,0 a 3,3 m da p.c.
Riempimento intercapedine	Bentonite da p.c. a 3,0 m da p.c.
Tubazione/foro tra i livelli	Mista naturale tra 5,0-10,0/12,0-16,0/18,0-21,0 m da p.c.

La realizzazione del pozzo multilivello di monitoraggio denominati M1 ha previsto le seguenti attività consequenziali:

- ✓ Perforazione a mezzo sonda tradizionale del **foro di alloggio** delle tubazioni; la perforazione è stata realizzata a distruzione di nucleo con attrezzo di diametro 178 mm fin dove possibile: in relazione alla granulometria del terreno ed all'esigenza di limitare l'uso di fluidi di perforazione è stato necessario procedere alla perforazione con diam.152 mm da circa 20 m a 23 da p.c.
- ✓ Realizzazione del livello di monitoraggio n.4 (per il dettaglio delle quote di posa si fa riferimento alla tabella della pagina precedente):
 - formazione dell'anello basale sigillante di spessore pari a circa 30 cm costituito da Compactonit;
 - Installazione tubo in PVC diam. ½" con tratto fenestrato da 21,5 a 22,5 m da p.c. e contestuale posa di dreno siliceo;
 - formazione dell'anello apicale sigillante di spessore pari a circa 30 cm costituito da Compactonit;
- ✓ Riempimento con materiale granulare da 21,0 a 18,0 m da p.c.;
- ✓ Realizzazione del livello di monitoraggio n.3 (per il dettaglio delle quote di posa si fa riferimento alla tabella della pagina precedente):
 - formazione dell'anello basale sigillante di spessore pari a circa 30 cm costituito da Compactonit;
 - Installazione tubo in PVC diam. ½" con tratto fenestrato da 16,5 a 17,5 m da p.c. e contestuale posa di dreno siliceo;
 - formazione dell'anello apicale sigillante di spessore pari a circa 30 cm costituito da Compactonit;
- ✓ Riempimento con materiale granulare da 16,0 a 12,0 m da p.c.;
- ✓ Realizzazione del livello di monitoraggio n.2 (per il dettaglio delle quote di posa si fa riferimento alla tabella della pagina precedente):
 - formazione dell'anello basale sigillante di spessore pari a circa 30 cm costituito da Compactonit;
 - Installazione tubo in PVC diam. ½" con tratto fenestrato da 10,5 a 11,5 m da p.c. e contestuale posa di dreno siliceo;
 - formazione dell'anello apicale sigillante di spessore pari a circa 30 cm costituito da Compactonit;
- ✓ Riempimento con materiale granulare da 10,0 a 5,0 m da p.c.;
- ✓ Realizzazione del livello di monitoraggio n.1 (per il dettaglio delle quote di posa si fa riferimento alla tabella della pagina precedente):
 - formazione dell'anello basale sigillante di spessore pari a circa 30 cm costituito da Compactonit;
 - Installazione tubo in PVC diam. ½" con tratto fenestrato da 3,5 a 4,5 m da p.c. e contestuale posa di dreno siliceo;
 - formazione dell'anello apicale sigillante di spessore pari a circa 30 cm costituito da Compactonit;
- ✓ Riempimento con bentonite da 3,0 m da p.c. a p.c.;
- ✓ realizzazione di pozzetto interato lato 20x20 cm con coperchio.

I tubi di monitoraggio sono stati attrezzati con connettori a sgancio rapido per agevolare i campionamenti.

2.2 PIEZOMETRI DI MONITORAGGIO

Sono stati realizzati **n.2 piezometri di monitoraggio** ubicati rispettivamente a monte idrogeologico (Pz1) e a valle idrogeologico (Pz2) rispetto all'area di trattamento mediante insufflaggio dei gas.

Le caratteristiche costruttive dei piezometri di monitoraggio sono le seguenti (cfr. **ALL.2c**):

PIEZOMETRI	
Modalità di perforazione	Distruzione di nucleo
Diametro di perforazione	178 mm da p.c. a 20 m da p.c. a scalare 152 mm fino a 30,0 m da p.c.
Profondità	30,0 m da p.c.
Tubazione	PVC pesante da 4" Tubazione cieca da p.c. a 21,0 m da p.c. Tubazione fenestrata da 21,0 a 30,0 m da p.c.
Dreno	Ghiaia fine silicea da 3,0 a 30,0 m da p.c.
cementazione	Bentonite da p.c. a 3,0 m da p.c.
pozzetto	Prefabbricato in cemento lato 30x30 cm con chiusino in metallo carrabile

La realizzazione dei piezometri di monitoraggio denominati Pz1 e Pz2 ha previsto le seguenti attività consequenziali:

- ✓ Esecuzione di perforazione a distruzione di nucleo con diam.178 a scalare diam.152, spinta sino a 30 m da p.c.;
- ✓ Installazione di tubo piezometrico diametro 4" in PVC (0-21 m da p.c. di tubazione cieca; 21-30 m da p.c. di tubazione fenestrata);
- ✓ Posa di materiale drenante costituito da ghiaia fine silicea e calibrata di idonea granulometria in funzione delle caratteristiche dell'acquifero nello spazio anulare tra tubazione e perforo sino a 3,0 m da p.c.;
- ✓ Sigillatura dell'intercapedine per un tratto di circa 3,0m con impiego di bentonite;
- ✓ posa di chiusino carrabile;
- ✓ Spurgo a mezzo elettropompa sommersa con ricambio di almeno 10 volte il volume di acqua contenuto nella tubazione.

2.3 PUNTI DI MONITORAGGIO GAS SUB-SLAB

In prossimità di ciascuno dei n.4 pozzi multilivello denominati I1, I2, I3, M1 sono stati realizzati altrettanti punti di monitoraggio gas sub-slab.

Le verticali di monitoraggio sono state realizzate mediante perforazione a distruzione della soletta in calcestruzzo e del primo sottosuolo, infissione di uno spezzone di tubo in acciaio inox e realizzazione di un pozzetto di alloggio.

I tubi di monitoraggio sono stati attrezzati con connettori a sgancio rapido per agevolare i campionamenti.



Figura 2-2 – Realizzazione pozzetto di monitoraggio sub-slab

3 REALIZZAZIONE DEGLI IMPIANTI SOPRASUOLO

L'impianto oggetto della presente descrizione è stato progettato al fine di somministrare la miscela riducente di idrogeno-azoto al sistema di immissione nel terreno secondo le condizioni di portata e pressione imposte dal processo di riduzione geochimica del cromo esavalente.

Quanto sopra comporta la definizione ed il dimensionamento di:

- opportuni sistemi di stoccaggio dei gas necessari:
 - per la fornitura dell'azoto si è previsto lo stoccaggio con un serbatoio criogenico dalla capacità di 5000 lt., che è stato posizionato in zona idonea ed adiacente all'area del test
 - per la fornitura del gas idrogeno si è previsto di utilizzare dei gruppi bombola di capacità variabile 150-200 Nm³, caricati alla pressione di 200 barg;
- un sistema di miscelazione che garantisca in automatico tramite interblocchi le specifiche di qualità e stabilità della miscela e che consenta la manipolazione dei singoli componenti e la gestione dell'insieme in sicurezza;
- un impianto di distribuzione della miscela gassosa, completo di quadro di comando per la regolazione ed il controllo dell'immissione della miscela su ogni singola calata (punto di insufflazione);
- un area idonea all'installazione di tutto quanto necessario alla buona riuscita della fornitura;
- tutti i dispositivi di protezione e sicurezza necessari secondo le normative vigenti.

L'impianto viene di seguito descritto nei suoi elementi essenziali.

3.1 DESCRIZIONE IMPIANTISTICA

Miscelatore per gas WITT: MG95-2 Flex SO

- Numero di apparecchio: 913858
- Anno di costruzione (MM/AAAA): 03/2011
- Codice articolo: 539.200285
- Numero di schema funzionale: F830.732300 002 Data: 22.03.2010 1 fogli
- Installazione (uso): interno
- Grado di inquinamento: 3 (standard industriale)
- Temperatura ambiente: -25 °C to +50 °C
- Temperatura di stoccaggio: -25 °C to +70 °C, standard industriale
- Altitudine (uso): max. 2000 m s.l.m.
- Dimensioni miscelatore
- (alt.xlarg.xprof.) in mm: 355 x 565 x 250 senza raccordi
- Peso: 30 kg
- Temperatura d'ingresso gas: min. -25 °C max. +50 °C
- Differenza delle temperature d'ingresso dei gas: max. 15 °C
- Tipi di gas: H₂
- Gamma di miscelazione: 1,5 – 13,5 vol.-%
- N₂ (gas di comando) resto
- Precisione: < 5 % +/- 0.5 % assoluto 5 fino a 20 % +/- 10 % riferito ad valore nominale
- Pressioni d'ingresso dei gas: max. 25,0 bar di sovrappressione statica min. 7,0 bar di sovrappressione dinamica (min. P_v)
- Differenza delle pressioni di gas in entrata: max. 3,0 bar

- Pressione gas pilota (**14**): 6,0 bar di sovrappressione (P_m)
- Regolatore di pressione in uscita (**8**) si è regolato: 2,5 bar di sovrappressione statica ($P_{h \text{ stat.}}$)
- Portata di gas di miscelazione (riferita al N_2): **39,6** Nm³/h con 1,5 bar pressione in uscita, dinamica ($P_{h \text{ dyn.}}$)
- min. portata di gas di miscelazione: 8 NI/min (0,48 Nm³/h)

WITT-Analyser: H2 in carrier gas

- Serial number: 914815
- Manufacturing date (MM/YYYY): 06/2011
- Part number: 5901-111-6
- Functional scheme number: F830.385100 Date: 29.01.2009 1 sheet
- Electrical circuit diagram number: E830.385100 003 Date: 11.03.2011 12 sheets
- Setting up (usage): Indoors
- Hazardous location: Zone: 1
- Equipment group: II
- Categories of equipment: 2G
- Explosionsgroup: IIC
- Class of temperature: T3
- Soiling index: 3 (Industrial standard)
- Ambient temperature: min. 0 °C max. 45 °C
- Storage temperature: min. -25 °C max. 70 °C Industrial standard
- Operating altitude: max. 2000 m above sea level
- Dimensions (HxWxD) in mm: 225 x 365 x 500 (analyser) without connections 380 x 600 x 275 (separate control housing)
- Weight: approx 31 kg
- Sample gases: H₂ in carrier gas
- Carrier gas: Nitrogen (N₂)
- Gas inlet temperature: min. 0 °C max. 45 °C
- H₂-Analysis
- Sensor: Output of sensor electronic 4-20 mA
- Warm-up: 1 hour
- Measurement range: 0...10 Vol% H₂ in carrier gas
- Operative life: immune to wear and tear
- Calibration gases:
- Calibration point 1
- ("low" cal. Point):
- Factory set: 100 Vol% carrier gas (0 vol.% H₂ in carrier gas) (possible setting: 0-2 vol.% H₂ in carrier gas)
- Calibration point 2 ("high" cal. Point): 4-10 Vol% H₂ in carrier gas 10 Vol% H₂ in carrier gas (factory set)
- Gas inlet pressure (39,43,44): min. 1.5 barg max. 10.0 barg
- Pressure regulator (39) for Cal P1: 1.0 bar factory set
- Pressure regulator (43) for Cal P2: 1.0 bar factory set
- Pressure regulator (44) for anal. gas: 1.0 bar factory set
- Pressure regulator (49) for measuring cell: 0.3 bar factory set
- Gas inlet connections: WITTFIX for copper pipe OD 6 mm
- Gas outlet connections: anal. gas: Swagelok for copper pipe OD 6 mm regulator (49): Swagelok for copper pipe OD 6 mm
- Electrical supply voltage: L/N/PE AC 50 Hz 230 V (-10%, +10% in acc. IEC 38)
- Protection measures: Protection class 1 (earth wire connection)
- Power consumption: 38.3 VA
- Current consumption: 0.17 A
- Enclosure rating: Corresponds to IP 54
- Rating of the floating contacts: 250 V AC, 24 V DC, 2 A Corresponds to the protection requirements of the directive:

- ATEX directive 94/9/EC
- Directive 2004/108/EC (electromagnetic compatibility)
- Standards applied (design rules): DIN EN 61000-6-3 2007-09, DIN EN 61000-6-2 2006-03
- DIN EN 60439-1/2005-01

3.1.1 Stoccaggio dei gas singoli

AZOTO

L'azoto viene stoccato allo stato liquido in un evaporatore criogenico di capacità di 5000 lt.

Questi serbatoi criogenici sono progettati per contenere ossigeno, azoto ed altri gas allo stato liquido e già predisposti per la loro erogazione a pressione costante compresa tra 4 e 13 bar.

Questo insieme è costituito da un recipiente cilindrico in acciaio inossidabile contenuto in un involucro in acciaio al carbonio. Il recipiente interno è mantenuto, da un particolare sistema, centrato rispetto all'involucro.

Lo spazio compreso tra il recipiente interno e l'involucro esterno è riempito di materiale isolante polverulento (perlite).

In più per aumentare l'isolamento termico del recipiente interno, l'isolante è mantenuto sotto vuoto spinto. Sul coperchio superiore dell'involucro esterno è montato un dispositivo di sicurezza per evitare, in caso di eventuali perdite del recipiente interno e delle tubazioni, sovrappressioni all'interno dell'involucro.

Sullo stesso involucro sono anche montate le valvole di intercettazione per la messa in vuoto della intercapedine e per il controllo del suo stato di vuoto.

Il serbatoio criogenico è un apparecchio il cui funzionamento è completamente automatico grazie al sistema di regolazione costituito dall'economizzatore e dal regolatore.

Queste due apparecchiature fanno sì che durante l'erogazione la pressione del contenitore rimanga costantemente quella di taratura degli strumenti. Infatti se la pressione tende a diminuire, una frazione di prodotto liquido evapora e ritornando all'interno del contenitore, allo stato gassoso, ne ripristina la pressione voluta.

Se al contrario la pressione è più alta di quella di taratura, in fase di inizio erogazione, il gas viene immesso in rete.

Il sistema di vaporizzazione è uno scambiatore atmosferico a tubi alettati in grado di garantire la corretta e sufficiente vaporizzazione dell'azoto liquido.

E' instato installato un dispositivo di blocco certificato in classe IV secondo la normativa PED atto a prevenire il rischio di rottura fragile, conformemente alle specifiche richieste dalla circolare I.S.P.L.E.S n.9/2004.

Tale dispositivo è dimensionato ed installato secondo quanto previsto da un'analisi di rischio da effettuarsi sotto la responsabilità di SAPIO.

Questa apparecchiatura è progettata e costruita per chiudere il passaggio del gas, qualora la temperatura del gas stesso dovesse scendere a valori inferiori di quelli di progetto dell'impianto e dei componenti dello stesso.

IDROGENO

L'erogazione dell'idrogeno è garantita attraverso uno stoccaggio di gas compresso utilizzando gruppi bombola.

Per la fornitura dell'idrogeno attraverso l'utilizzo di gruppi bombola ad alta pressione si è provveduto alla realizzazione di un ricovero idoneo. Inoltre la progettazione dell'impianto di distribuzione del gas ha previsto un primo stadio di riduzione di pressione.

3.1.2 Modulo di miscelazione

La miscela riducente da immettere nel terreno si ottiene per effetto di una corretta miscelazione dei due gas Azoto e Idrogeno.

La miscela prodotta è mantenuta in un intervallo di non infiammabilità della stessa in aria.

Il sistema di miscelazione è al momento il più performante presente sul mercato in grado di abbinare una elevatissima precisione nelle tolleranze di preparazione della miscela ed un alto grado di sicurezza. Infatti è dotato di un sistema di interblocco per mancanza gas pilota (azoto) o calo di pressione dello stesso.

L'idrogeno viene quindi introdotto solo se è presente azoto nella pressione accettabile a monte del miscelatore e a valle del polmone. La composizione della miscela richiesta viene settata tramite una valvola proporzionale.

3.1.3 Impianto di distribuzione

Tutte le linee di distribuzione sono realizzate con materiali compatibili con i gas di processo: la linea di collegamento dal modulo di miscelazione fino ai quadri di controllo gas (miscela inerte) è realizzata in AISI 304 con raccordi saldati al TIG; a valle dei quadri gas si è operato con tubi tipo rilsan con un diametro sufficiente a garantire le condizioni di design ed una massima pressione di lavoro superiore a quella ammissibile sull'evaporatore criogenico (stadio in cui si genera la massima pressione dell'impianto).

Le linee di collegamento fino al sistema di miscelazione sono realizzate in acciaio INOX AISI 304L SS. Le linee sono identificate a norma di legge.

3.1.4 Quadri gas

Il sistema è progettato al fine di poter gestire singolarmente ogni punto di immissione del gas.

La linea principale è divisa in calate su ciascuna delle quali è realizzato un sistema di controllo per tre punti di immissione; il sistema per ogni punto di immissione prevede: un intercettazione manuale, un intercettazione tramite elettrovalvola con comando a quadro e un misuratore di portata, flussimetro, e manometro per il corretto controllo della quantità di gas effettivamente erogata.

LOGICHE DI FUNZIONAMENTO

La base del trattamento è l'immissione controllata della miscela gassosa in grado di generare un ambiente riducente nel terreno. E' opportuno permettere di poter gestire il processo temporizzando l'immissione in intervalli. L'impianto nasce per poter gestire in automatico ed in completa sicurezza la minor portata oraria possibile di gas al fine di ottimizzare, anche economicamente il processo di bonifica.

La gestione separata dei punti di insufflaggio del gas permette di variare e controllare la quantità del gas sia sulla base della distribuzione in pianta sia in profondità nella matrice solida..

4 MODALITÀ DI CONDUZIONE DEL TEST DI BONIFICA

4.1 DESCRIZIONE DEL PROCESSO

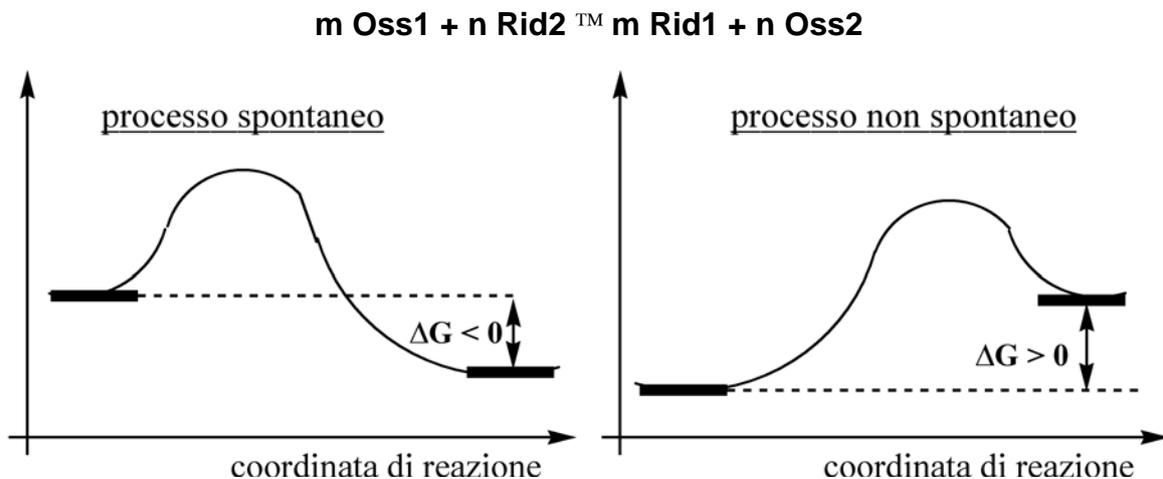
Lo scopo di questa analisi è quello di dimostrare che la reazione chimica su cui si base il metodo Soilution è termodinamicamente possibile, che è cinematicamente sviluppata in un tempo ragionevole relativamente a quelli di bonifica dei siti contaminati, fondata su basi scientifiche certe e che non esistono elementi ostativi di carattere chimico allo sviluppo spontaneo della reazione.

La conformazione anisotropa del terreno, la sua separazione tra zona satura ed insatura, la diffusività e solubilità del gas in stratigrafie del suolo sempre diverse, i tempi di contatto in una falda in continuo movimento, gli elementi organici ed inorganici naturalmente presenti nel sottosuolo, le condizioni operative naturali di pH, redox, umidità, conducibilità del sottosuolo di fatto non modificabili e quindi condizioni dominanti e persistenti nel processo di riduzione, rappresentano distorsioni importanti non ponderalmente quantificabili o possibili da razionalizzare con modelli evolutivi certi e condivisi.

Per questo motivo i dati analitici che si sono acquisiti durante la prova in campo nell'esecuzione del test di trattabilità costituiscono la prova inconfutabile e la conferma, che a prescindere da tutti gli elementi perturbativi descritti, la riduzione del cromo esavalente con idrogeno avviene in modo spontaneo ed è stata verificata e validata durante la sperimentazione sia in ambienti saturi ed insaturi contaminati da cromo esavalente.

4.1.1 Basi Scientifiche

In tutte le reazioni chimiche ha luogo produzione o consumo di una certa quantità di energia.



I grafici soprastanti rappresenta un processi chimici diversi. Quello che avviene spontaneamente è quello per il quale la variazione di energia libera di Gibbs è negativa $\Delta G < 0$

La variazione di energia libera ΔG rappresenta il lavoro utile fatto da un sistema sull'intorno

Quindi nel caso generico associato alla reazione citata si possono verificare 3 casi

- 1) $E_1 > E_2$ significa che nel comparto o semicella 1 avviene la riduzione per cui la reazione (a) avviene spontaneamente da sinistra a destra
- 2) $E_1 < E_2$ significa che nel comparto o semicella 2 avviene una riduzione per cui globalmente la reazione (a) avviene spontaneamente da destra a sinistra
- 3) $E_1 = E_2$ il sistema è in condizioni di equilibrio

La reazione può avvenire per via chimica mediante un trasferimento diretto di elettroni tra le specie coinvolte; in questo modo però non possiamo sfruttare la potenziale energia liberata dal processo spontaneo.

Oppure la reazione, però, può avvenire anche in modo indiretto quando le due coppie red-ox (rid1/oss1 e oss2/rid2) vengono poste in due diversi recipienti, purché questi siano collegati da un ponte salino o da un setto poroso i quali hanno il compito di mantenere l'elettroneutralità delle soluzioni nei due compartimenti.

Nel primo caso si tratta di una ossidoriduzione, nel secondo caso di una pila, cioè un oggetto capace di far fluire gli elettroni sfruttando la spontaneità della reazione per produrre energia elettrica.

La reazione chimica che è utilizzata dal metodo Soilution è una ossido-riduzione, conosciuta in letteratura chimica e regolata dalle leggi dell'elettrochimica. È anche nota negli ambienti galvanici, come reazione parassita durante le elettrodeposizioni di cromo, dove si sviluppa al catodo dell'idrogeno nascente che riduce il cromo esavalente presente in vasca, compromettendo parzialmente la durezza e qualità delle elettrodeposizioni.

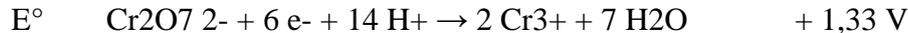
Lo scopo delle tabelle dei potenziali standard E° è quello di poter sommariamente predire se una reazione di ossido-riduzione può avvenire e in quale senso è spontanea.

Anche se poi come si vedrà è la variazione di energia libera che rende un processo spontaneo (ΔG° totale negativo)

In generale considerate due coppie redox, quella a potenziale maggiore agisce da ossidante sull'altra.

Il potenziale di una coppia redox secondo Nerst dipende da 2 termini, E° e il termine logaritmico comprendente il rapporto tra le specie ossidate e ridotte. Di questi quello più importante quantitativamente è E° e in quanto in un processo spontaneo il ΔE della pila deve essere + per permettere un ΔG negativo ($-\Delta G = nF\Delta E$),

I potenziali normali E° delle due semireazioni interessate sono i seguenti:



Le semireazioni elettrodiche vengono sempre scritte nel senso della riduzione:



- maggiore è il loro valore, maggiore sarà la tendenza alla riduzione
- minore è il loro valore, minore sarà la tendenza alla riduzione e quindi ci sarà maggior tendenza alla ossidazione.

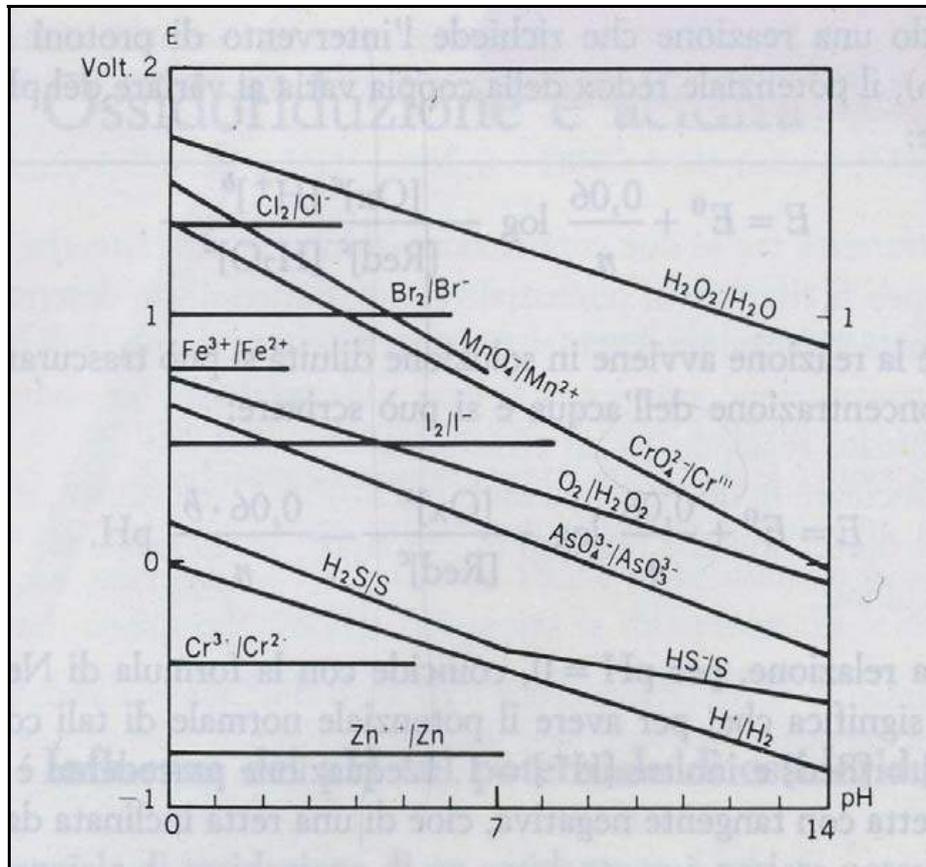
La semireazione della coppia H^+/H_2 è identica, tranne che per il pH di reazione che nel nostro caso è prossimo al 7, all'elettrodo di riferimento utilizzato per la determinazione dei potenziali delle coppie "standard", ricavati cioè con concentrazioni molari unitarie, temperatura di 298K (25°C), a pH 0 ed è convenzionalmente pari a 0,000 V

Da queste premesse ne consegue che la f.e.m. dell'ossidoriduzione costituita dalle semireazioni descritte:

$$E = E_{\text{catodo}} - E_{\text{anodo}}$$

$$E = 1,33 \text{ V} - 0,00 \text{ V} = 1,33 \text{ V}$$

Nel nostro caso il potenziale piuttosto elevato e rimane pressoché costante tra le due semicelle entro tutti i valori di pH come indica il grafico allegato.



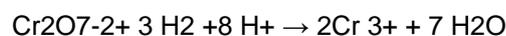
Inoltre la tabella dimostra che anche a pH 7, valore della falda dove avverrà la reazione nell'applicazione nel campo ecologico di bonifica, la f.e.m. è comunque elevata come si può estrapolare la seguente grafico, che permette di evitare di esporre i complessi calcoli secondo l'equazione di Nerst per la determinazione delle E a diverse condizioni di pH per le due semireazioni

Da queste osservazioni quindi si predice la spontaneità della reazione in mezzo acquoso che si dimostra calcolando il ΔG della reazione.

Partiamo dalle semireazioni bilanciate:



Che complessivamente si può scrivere:



Con 6 elettroni scambiati

Da tali valori possiamo calcolare i ΔG° delle singole semireazioni e da questi valori calcolare poi il ΔG° della reazione redox totale.

Pertanto da $\Delta G^\circ = -n FE^\circ$ possiamo calcolare il valore ΔG° utilizzando grandezze del SI per cui anche il risultato sarà nelle rispettive unità di misura.

$$\Delta G^\circ(\text{anodo}) = -n FE^\circ = -2 \times F \times 1,06 = -2 \times 96487 \times 0 = 0 \text{ J}$$

$$\Delta G^\circ(\text{catodo}) = -n FE^\circ = -6 \times F \times 1,33 = -6 \times 96487 \times 1,33 = -769.966 \text{ J pari a } -770 \text{ KJ}$$

La reazione totale è la somma delle reazioni scritte per cui si avrà:

$$\Delta G^\circ \text{ totale} = 770 \text{ kJ} - 0 \text{ kJ} = -770 \text{ kJ}$$

Da queste calcoli si dimostra quindi la spontaneità della reazione in mezzo acquoso essendo il ΔG totale negativo.

4.1.2 Equilibrio nelle Reazioni Redox

Il secondo problema che si pone nelle reazioni redox è il raggiungimento dell'equilibrio e quindi delle concentrazioni delle specie reagenti quando la reazione raggiunge l'equilibrio secondo il principio di Le Chatelier.

Fondamentale nella nostra applicazione, in quanto se all'equilibrio la specie reagente cromo esavalente ha una concentrazione ancora elevata e superiore ai limiti legislativi, la reazione diviene inutilizzabile in ambito di bonifica ambientale.

Quando una cella eroga corrente vuol dire che avvengono le semireazioni catodiche e anodiche

All'anodo si ha ossidazione, per cui aumenta la concentrazione degli ioni in soluzione e quindi aumenta il potenziale elettrodico; al catodo si ha riduzione per cui diminuisce la concentrazione degli ioni in soluzione e quindi diminuisce il potenziale elettrodico.

I due elettrodi si avvicinano come valori di potenziale fino a quando non sono uguali; a questo punto si dice che la pila è scarica e la cella è in condizioni di equilibrio:

$$E = E_{\text{catodo}} - E_{\text{anodo}} = 0 \quad \text{cioè} \quad E_{\text{catodo}} = E_{\text{anodo}}$$

Nel nostro caso, essendo una ossido-riduzione, possiamo affermare che la cella è costituita dalle semireazione e il ponte salino è costituito dall'acqua che è il mezzo di trasferimento degli elettroni

Quindi, per un sistema redox l'equilibrio si ha quando esiste uguaglianza dei potenziali elettrodici.

$$a A_{\text{RID}} + b B_{\text{OX}} \rightleftharpoons a A_{\text{OX}} + b B_{\text{RID}} \quad K_{\text{eq}} = \frac{[A_{\text{OX}}]^a \cdot [B_{\text{RID}}]^b}{[A_{\text{RID}}]^a \cdot [B_{\text{OX}}]^b}$$

le semireazioni elettrodiche sono:

$$a A_{\text{OX}} + n e^- \rightarrow a A_{\text{RID}}$$

$$b B_{\text{OX}} + n e^- \rightarrow b B_{\text{RID}}$$

All'equilibrio si avrà: $E_A = E_B$

Applicando l'equazione di Nernst: $E_A^0 + \frac{0,059}{n} \log \frac{[A_{\text{OX}}]^a}{[A_{\text{RID}}]^a} = E_B^0 + \frac{0,059}{n} \log \frac{[B_{\text{OX}}]^b}{[B_{\text{RID}}]^b}$

Da cui, con qualche passaggio algebrico: $E_B^0 - E_A^0 = \frac{0,059}{n} \log \frac{[A_{\text{OX}}]^a \cdot [B_{\text{RID}}]^b}{[A_{\text{RID}}]^a \cdot [B_{\text{OX}}]^b}$

Ricordando che le concentrazioni sono quelle di equilibrio si ha:

$$E_B^0 - E_A^0 = \frac{0,059}{n} \log K_{\text{eq}} \quad \text{e quindi:} \quad \log K_{\text{eq}} = \frac{n \cdot (E_B^0 - E_A^0)}{0,059}$$

Dalla reazione si capisce che quanto più differiscono i potenziali standard tanto più il valore della costante di equilibrio è molto grande o molto piccolo, tenuto conto degli elettroni scambiati.

Nella reazione Soilution, facendo un calcolo algebrico e utilizzando la formula precedentemente ricavata si ha una costante di equilibrio pari a:

$$\log Keq = \frac{6(1.33 - 0)}{0,059} = 135,25$$

$$K eq = 10^{135}$$

Il valore della costante di equilibrio è un dato molto importante se si vuol desumere l'aspetto quantitativo di una reazione redox: alti valori della costante indicano che la reazione decorre in modo quantitativo, cioè è quasi tutta spostata a destra.

Quindi anche in questo caso, essendo la costante molto alta, si dimostra che la concentrazione del cromo esavalente all'equilibrio ha un valore assolutamente insignificante e quindi ampiamente sotto i valori legislativi consentiti, sia nel mezzo acquoso che nel terreno.

4.1.3 Verifica della reazione in un caso pratico

Ipotizziamo ora la reazione di riduzione in un caso pratico di bonifica nella zona satura.

Ovviamente con delle significative approssimazioni dovute alle inevitabili differenze tra la prova in campo e la prova in laboratorio, dove si lavora solo con una specie pure.

Per comodità di calcolo, ma utilizzando concentrazioni degli inquinanti verosimili, ipotizziamo una concentrazione di cromo esavalente pari a 0,01 M ovvero circa 2,16 g/l

Parallelamente, ipotizziamo una concentrazione di cromo trivalente, sempre comunque un po' presente negli acquiferi contaminati dovuto alla riduzione naturale dell'esavalente derivante da acidi umici e sostanze naturalmente presenti nei terreni e negli acquiferi, pari a 0,000001 M cioè circa 53 microgrammi/l.

Queste rappresentano le concentrazioni della semireazione catodica.

Mentre la concentrazione di [H+] è pari a 10^{-7} considerando il mezzo acquoso dove avviene la reazione con un $K_w = 10^{-14}$ ad un valore di pH di circa 7.

Applicando l'equazione di Nerst e ricordando che nella formula :

- a) si usa la concentrazione molare quando si tratta di individui chimici in soluzione;
- b) si usa la pressione (atm) quando si tratta di composti allo stato gassoso;
- c) si usa l'unità (e quindi non compaiono nell'equazione) quando si tratta di composti solidi o del solvente.

Si ottiene per la semicella catodica:

$$E = E^{\circ}(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}) + (0,059/6) \log [\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}][\text{H}^+]/[\text{Cr}^{3+}]^2$$

$$E = 1,33 + (0,059/6) \log [10^{-2}][10^{-7}]/[10^{-6}]^2$$

$$E = 1,33 + (0,059/6) \log 10^{-100}/10^{-12}$$

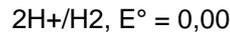
$$E = 1,33 + (0,059/6) \log 10^{-88}$$

$$E = 1,33 + (-0,86) = 0,47 \text{ V}$$

Per l'altra semireazione anodica usando azoto al 96 % e idrogeno al 4%, miscela atossica ed inerte in quanto sotto il punto di infiammabilità, in concentrazione ridondante rispetto alla stechiometria analitica, si configura come un elettrodo a idrogeno ma con potenziale a pH 7, valore al quale avviene la reazione.

Il semielemento standard, è infatti costituito da una lastrina di platino immersa in una soluzione acida 1 M per acido cloridrico, sulla quale arriva una corrente di idrogeno alla pressione di 1 atm.e a 298K (25°C),

Poiché si è stabilito per convenzione, per la coppia standard



il potenziale E dell'elettrodo a idrogeno così modificato applicando la formula di Nerst è:

$$E = 0,059 \lg [H^+] \text{ ovvero, cambiando di segno, } E = - 0,059 - \lg [H^+]$$

Ma $-\lg H^+$ è il pH della soluzione, per cui il potenziale dell'elettrodo a idrogeno dipende dalla concentrazione idrogenionica della soluzione, cioè dal pH.

$$E = - 0,059 \text{ pH}$$

Ma essendo il mezzo acquosa a pH circa 7

$$E = - 0,059 * 7 = - 0,413 \text{ V}$$

Conseguentemente la f.e.m. della ossidoriduzione che avviene alle condizioni ipotizzate è calcolata mediante la formula:

$$E_{\text{cella}} = E_{\text{catodo}} - E_{\text{anodo}}$$

$$E = 0,47 - (-0,41) = 0,88 \text{ V}$$

Valore ampiamente positivo e che giustifica il naturale svolgimento della reazione alle concentrazioni ipotizzate, ma tipiche nei siti contaminati da cromo esavalente.

4.1.4 Caratteristiche chimico fisiche dell'idrogeno e della miscela utilizzata

L'idrogeno è fornito in miscela con azoto, gas vettore inerte atossico, non infiammabile.

La miscela di idrogeno con l'azoto ad una concentrazione in volume sotto il 4%, che sarà la condizione di sperimentazione, è parimenti non infiammabile e non tossica. Questa condizioni ci permette di utilizzarlo senza alcuna difficoltà di rischio in ambienti aperti o confinati, o anche in siti contaminati attivi, dove le produzioni sono ancora attive e quindi sono presenti maestranze aziendali. La semplicità e innocuità del reagente in miscela è una condizione che ne rende l'utilizzo in campo ambientale estremamente versatile.

L'idrogeno è l'elemento chimico più leggero e dotato di piccolo raggio atomico, con densità relativa pari a 0,07 Kg/mc (per l'aria è 1) è quindi dotato di altissima diffusività, addirittura in grado di attraversare lamine metalliche. Questa caratteristica applicata al campo ambientale è fondamentale. Infatti permette al reagente di espandersi in modo tridimensionale e uniforme raggiungendo e permeando anche gli orizzonti argillosi del sottosuolo a bassa permeabilità, a differenza di qualsiasi liquido che non può raggiungere zone di terreni contaminati dove la diffusione è difficoltosa. Inoltre la sua diffusività tridimensionale permette di avere un unico punto di erogazione profondo dal quale poi il gas espande in tutti gli stati superficiali sia saturi che insaturi.

La solubilità dell'idrogeno dipende dalla temperatura e pressione: a 20 °C e a pressione atmosferica è circa di 1,6 mg/l. Ovviamente la solubilità aumenta con la pressione quando è insufflato in profondità. Questa solubilità in acqua, apparentemente bassa, è tuttavia più che sufficiente per instaurare reazioni di ossidoriduzioni con i contaminanti che comunque hanno livelli di concentrazione con ordini di grandezza paragonabili. Inoltre il consumo di idrogeno che si avrà per effetto dell'ossidoriduzione con il metallo o altre sostanze interferenti presenti, sarà continuamente ripristinato mediante una erogazione intermittente, ma continua e ponderalmente ridondante.

4.2 CALIBRAZIONE DEL SISTEMA – START UP

Calibrazione e collaudo dei punti di insufflaggio sono stati realizzati mediante l'immissione di gas tracciante ELIO (la particella con massa molecolare più piccola dopo l'idrogeno) in ciascuno dei n.3 punti aventi diffusore ad una profondità di -30m dal piano campagna.

Al fine di rilevare l'avvenuta distribuzione del gas tramite i punti di iniezione è stato utilizzato un idoneo strumento di rilevazione per l'individuazione della presenza dello stesso gas elio in tutti i punti di monitoraggio presenti in campo.

- Inizialmente è stato iniettato elio nel punto I2 per circa 25 minuti rilevando la presenza nei 4 punti di monitoraggio multilivello assiali al punto di insufflazione.
- Successivamente è stato iniettato elio nel punto I1 per circa 15 minuti rilevando la presenza nei 4 punti di monitoraggio multilivello assiali al punto di insufflazione.
- Infine è stato iniettato elio nel punto I3 per circa 15 minuti rilevando la presenza nei 4 punti di monitoraggio multilivello assiali al punto di insufflazione.
- Negli ultimi 5 minuti di erogazione si è rilevata la presenza di gas elio anche nei punti di monitoraggio multilivello M1 baricentrici ai punti di iniezione.

L'esito della prova di calibrazione è risultato pertanto POSITIVO: in 1 ora di erogazione con un totale di 8 mc di gas nei 3 punti di insufflazione alla profondità di 30 metri è stata rilevata la presenza di gas elio in tutti i punti di monitoraggio posti alle profondità di -22m, -18m, -12m, -5m.

Per l'attività di cui sopra è stato utilizzato il seguente strumento:

- ✓ **Thermal conductivity detector (TCD) GOW-MAC**

Si allega cd con le registrazioni.

4.3 CONDUZIONE DEL TEST – INSUFFLAGGIO MISCELA RIDUCENTE

Per tutto il periodo della prova, la portata di insufflaggio della miscela è stata impostata pari a 15Nm³/h. L'insufflaggio è stato modulato tramite i quadri gas in modo tale da procedere con l'immissione a rotazione nei n.3 diffusori con periodo di 7 ore ciascuno, con 3 ore di fermo dell'impianto.

Tale modalità di funzionamento permette la migliore diffusione e permeazione del terreno da parte del gas insufflato.

La conduzione degli impianti ha previsto le seguenti operazioni di routine con cadenza circa settimanale:

- Carico del serbatoio criogenico di Azoto;
- Sostituzione dei pacchi bombola di idrogeno;
- Ispezione degli impianti e verifica della tenuta del valvolame e delle connessioni.

5 RACCOLTA DEI DATI AMBIENTALI

5.1 MONITORAGGIO DEI GAS INTERSTIZIALI

Il test pilota ha previsto la verifica planimetrica della distribuzione del gas iniettato nell'aria interstiziale mediante una campagna di monitoraggio effettuata presso i seguenti punti di campionamento:

- n.3 pozzi multilivello di iniezione e monitoraggio gas (I1, I2, I3);
ciascuno dei n.3 punti di insufflaggio è stato attrezzato con n.4 tubi di campionamento alle profondità di 5-10-15- 20 m da p.c. (cfr. cap. 2.1);
ciascun tubo di campionamento è stato identificato con un numero progressivo associato all'identificativo del pozzo:

ID_campione	Pozzo multilivello	tubo	Profondità campionamento
I1 5	I1	5	10 m
I1 6	I1	6	20 m
I1 7	I1	7	15 m
I1 8	I1	8	5 m
I2 1	I2	1	20 m
I2 2	I2	2	15 m
I2 3	I2	3	10 m
I2 4	I2	4	5 m
I3 9	I3	9	15 m
I3 10	I3	10	10 m
I3 11	I3	11	5 m
I3 12	I3	12	20 m

- n.1 punto di monitoraggio gas (M1), ubicato in posizione baricentrica rispetto ai punti di insufflaggio, attrezzato con n.4 tubi di campionamento alle profondità di 5-10-15- 20 m da p.c. (cfr. cap. 2.1);
ciascun tubo di campionamento è stato identificato con un numero progressivo associato all'identificativo del pozzo:

ID_campione	Pozzo multilivello	tubo
C 13	M1	13
C 14	M1	14
C 15	M1	15
C 16	M1	16

- n.3 punti di monitoraggio sub-slab (cfr. cap.2.3) per la verifica della concentrazione dei gas al di sotto della soletta in calcestruzzo.
I campioni sono stati denominati SS1, SS2, SS3.

5.1.1 Modalità di campionamento

Il monitoraggio della concentrazione di gas nell'aria interstiziale è stato effettuato sia mediante l'utilizzo di strumentazione di campo sia mediante il campionamento e l'analisi in laboratorio.

Prima del campionamento è stato eseguito un idoneo spurgo pari a 3 volte il volume di aria contenuto nella sonda, nel dreno e nella tubazione di collegamento.

- L'analisi in campo è stata effettuata mediante **Analizzatore a Conduttività Termica modello 4400 TCA ADEV**.

- Il campionamento finalizzato alle analisi di laboratorio è stato effettuato con l'utilizzo di pompa elettrica da campo **modello LIFE LT** con regolatore di flusso; i campioni sono stati raccolti in apposite sacche Tedlar per gas complete di valvola e inviati in giornata al laboratorio di analisi

5.1.2 Frequenza di monitoraggio

Il monitoraggio dei gas nell'aria interstiziale e nei sub-slab è stato effettuato con frequenza oraria nel corso delle prime 8 ore di iniezione, poi giornaliera per la prima settimana di insufflazione, poi settimanale per un mese ed infine mensile, fino al termine dell'insufflaggio.

5.1.3 Metodologia di analisi

I campioni sono stati analizzati dal laboratorio Labanalysis di Casanova Lonati (PV) mediante strumentazione per gascromatografia.

In particolare, i parametri Idrogeno, ossigeno e azoto sono stati determinati con detector TCD, mentre il parametro CO₂ è stato ottenuto con detector FID e Metanatore in serie.

5.2 MONITORAGGIO DEI TERRENI

La valutazione dell'efficacia degli interventi di bonifica previsti dal Progetto Operativo presentato da SAPIO ha previsto n. 2 passaggi principali:

- ✓ **Fase 1: Monitoraggio ante-operam**
- ✓ **Fase 2: Monitoraggio post-operam**

5.2.1 FASE 1 – Monitoraggio Ante-operam

5.2.1.1 Sondaggi geognostici

Nel corso della realizzazione dei pozzi multilivello di insufflaggio e di monitoraggio denominati I1, I2 e I3 sono stati effettuati sondaggi geognostici finalizzati al campionamento del terreno attraversato da p.c. sino alla massima profondità raggiunta dalla perforazione.

I sondaggi geognostici sono stati effettuati mediante l'utilizzo di attrezzatura di perforazione tipo "**sonda tradizionale**", con campionamento in continuo dei materiali durante l'avanzamento della perforazione.

La sonda è stata attrezzata con carotiere semplice di diametro pari a 131 mm.

In corso di avanzamento del sondaggio è risultato necessario il sostegno provvisorio delle pareti del foro con rivestimento di diametro 178 mm.

Il materiale prelevato è stato disposto in apposite cassette catalogatrici con indicazioni circa la denominazione del sondaggio, la data e le profondità del campionamento al fine di ricostruire la stratigrafica del sottosuolo e prelevare i campioni di terreno da analizzare.

La perforazione è stata eseguita a secco limitando al minimo possibile la velocità di rotazione al fine di indurre un basso riscaldamento del materiale campionato: tale precauzione ha avuto lo scopo di minimizzare la possibile migrazione di composti volatili in relazione all'innalzamento della temperatura dovuta all'attrito tra l'attrezzatura di perforazione ed il terreno.

Il campionamento in continuo ha permesso di ricostruire l'assetto litostratigrafico del terreno in corrispondenza dell'area in esame.

In particolare, in **ALL.3** si riportano le stratigrafie dei terreni attraversati, in **ALL.4** si riporta la documentazione fotografica inerente le cassette catalogatrici contenenti il terreno carotato.

Dall'esame delle stratigrafie si evidenzia un assetto litostratigrafico del sottosuolo dell'area di indagine sostanzialmente omogeneo, caratterizzato da orizzonti permeabili costituiti da sabbia, ghiaia e ciottoli prevalenti. Si evidenzia la presenza di orizzonti di ghiaia compatta alternati a livelli da decimetrici a metrici costituiti da ciottoli e blocchi eterogenei talora cementati, ubicati a profondità compresa e variabile tra circa 13 e 19 m da p.c.

Sulla base dei principi di cui al Progetto Operativo presentato da SAPIO e dei contenuti dei documenti Golder n.C1126, Gennaio 2011 e n. C4121T/11, Maggio 2011, e sulla base dei riscontri in fase di avanzamento, i campioni destinati al **Monitoraggio Ante-operam** sono stati i seguenti:

SONDAGGIO	INTERVALLO DI PROFONDITÀ	ORIZZONTE DI RIFERIMENTO	TIPOLOGIA DI ANALISI
I2	2-3 m da p.c.	Orizzonte non saturo	Tal Quale
I2	5-6 m da p.c.	Orizzonte non saturo	Tal Quale
I2	8-9 m da p.c.	Orizzonte non saturo	Tal Quale
I2	11-12 m da p.c.	Orizzonte non saturo	Tal Quale
I2	14-15 m da p.c.	Orizzonte non saturo	Tal Quale
I2	17-18 m da p.c.	Orizzonte non saturo	Tal Quale
I2	22-23 m da p.c.	Orizzonte Oscillazione di Falda	Tal Quale
I2	23-24 m da p.c.	Orizzonte Oscillazione di Falda	Tal Quale
I2	24-25 m da p.c.	Orizzonte Oscillazione di Falda	Tal Quale
I3	22-23 m da p.c.	Orizzonte Oscillazione di Falda	Test di lisciviazione
I3	23-24 m da p.c.	Orizzonte Oscillazione di Falda	Test di lisciviazione
I3	24-25 m da p.c.	Orizzonte Oscillazione di Falda	Test di lisciviazione

5.2.1.2 Modalità di campionamento

Il terreno estratto per gravità dal carotiere è stato raccolto in idonee cassette catalogatrici conservate presso il cantiere.

I campioni di terreno destinati alle analisi di laboratorio sono stati prelevati in corrispondenza delle cassette catalogatrici.

I campioni di terreno sono predisposti in conformità ai disposti normativi di cui all'*All. 2 del Titolo V del D.lgs. 152/06*, procedendo con le seguenti operazioni:

- prelievo a mezzo paletta in acciaio INOX di una idonea quantità di materiale, depositato su telo in PVC sostituito al termine di ogni operazione di campionamento;
- Setacciatura del materiale con maglia metallica di luce 2,0 cm per la separazione della frazione granulometrica con diametro maggiore ai 2 cm;
- omogeneizzazione e quartatura del materiale passante depositato su telo in PVC;
- raccolta del materiale in barattoli di vetro con chiusura ermetica;
- identificazione del campione e dell'aliquota prelevata.

Al termine di ciascuna operazione di campionamento, si è proceduto alla pulizia dell'attrezzatura di campionamento e la sostituzione dei materiali di consumo.

I campioni sono stati conservati in luogo refrigerato sino alla consegna al laboratorio di analisi.

5.2.1.3 Metodologia di analisi

Le analisi di laboratorio, eseguite presso il laboratorio Lab Analysis Srl di Casanova Lonati (PV) hanno previsto n.2 tipologie di analisi:

- ✓ **Analisi sul Tal Quale** effettuate in corrispondenza di intervalli di terreno ricadenti sia nell'orizzonte non saturo che in quello saturo;
- ✓ **Test di lisciviazione** effettuato in corrispondenza di intervalli di terreno ricadenti nell'orizzonte di oscillazione della falda freatica.

5.2.1.3.1 Analisi sul Tal Quale

Le analisi di laboratorio sul materiale **Tal Quale** hanno previsto la determinazioni dei seguenti parametri e le seguenti metodologie di analisi:

ANALISI CHIMICHE	METODICHE ANALITICHE
pH	D.M. n° 185 13/09/99 SO GU n°248 21/10/99 Met.III.1
TOC	DM 21/12/2000 GU n°21 26/01/01 Parte 1
Capacità di Scambio Cationico (CSC)	D.M. n° 185 13/09/99 SO GU n°248 21/10/99 Met.III.1
Argento, Arsenico, Bario, Cadmio, Cobalto, Cromo totale, Ferro, Manganese, Mercurio, Molibdeno, Rame, Stagno, Nichel, Piombo, Selenio, Zinco	EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 C 2007
Cromo VI	EPA 3060 A 1996 + EPA 7196 A 1992

5.2.1.3.2 Test di lisciviazione

Il laboratorio di analisi Lab Analysis Srl, incaricato da SAPIO dell'esecuzione del test di lisciviazione come da capitolato Golder ha evidenziato le seguenti difficoltà nell'adozione del metodo raccomandato al cap. 3.1 del documento "Integrazioni al test pilota per l'iniezione di idrogeno in falda (Sapio) – Considerazioni tecniche" – Maggio 2011:

- la regolazione del pH al valore di 5.0 con una miscela di acidi forti come acido solforico ed acido nitrico in un ambiente non tamponato;
- eventuali stati di ossidazione del cromo potrebbero venire ossidati a cromo esavalente dalla presenza degli acidi sopra citati;
- l'aggiunta di acido solforico preclude la determinazione dei solfati sull'eluato da lisciviazione come richiesto da specifica Golder;

Su tale base, si è ritenuto opportuno procedere con un'altra metodologia indicata da Golder facendo riferimento alla metodica UNI EN 12457-2 che prevede il test di lisciviazione con acqua distillata (UNI EN 12457-2:2004 "Lisciviazione: prova di conformità per la lisciviazione di rifiuti granulari e fanghi").

Il **Test di lisciviazione** è stato realizzato su n.3 campioni di terreno suddivisi in n.3 aliquote ciascuno e ha previsto la determinazioni dei seguenti parametri e le seguenti metodologie di analisi:

ANALISI CHIMICHE	METODICHE ANALITICHE
pH	UNI EN 12457-2:2004 + APAT CNR IRSA 2060 Man 29 2003
TOC, DOC	UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN 1484:1999
Cromo VI	UNI EN 12457-2:2004 + APAT CNR IRSA 3150 C Man 29 2003
Argento, Arsenico, Bario, Cadmio, Cobalto, Cromo totale, Ferro, Manganese, Mercurio, Molibdeno, Rame, Stagno, Nichel, Piombo, Selenio, Zinco	UNI EN 12457-2:2004 + EPA 6020 A 2007
Solfuri	APAT CNR IRSA 4160 Man 29 2003
Fosfati, Solfati	UNI EN 12457-2:2004+UNI EN 12506:2004+UNI EN ISO 10304-1:2009
Alcalinità totale	APAT CNR IRSA 2010 B Man 29 2003
Potenziale Redox	UNI EN 12457-2:2004 + ASTM D1498
Ossigeno disciolto	Sonda Multiparametrica
Conducibilità elettrica a 20 °C	UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 27888:1995

5.2.2 FASE 2 – Monitoraggio post-operam

5.2.2.1 Sondaggi geognostici

Al termine della conduzione della fase di test è stata prevista, su indicazione ed in accordo con la Direzione Lavori, la realizzazione di n.1 sondaggio geognostico finalizzato alla caratterizzazione *post-operam* della matrice terreno.

In relazione alla presenza delle reti di sicurezza, installate nell'Ottobre 2013 a copertura del cantiere su indicazione del Responsabile per la Sicurezza di ETRA SpA, non è stato possibile provvedere all'immediata esecuzione del sondaggio in quanto l'area non risultava agibile ed accessibile ai mezzi di perforazione.

Facendo seguito al sopralluogo presso l'area di cantiere effettuato in data 30/01/2014 da SAPIO alla presenza della Direzione Lavori e del Responsabile per la Sicurezza di ETRA, al fine di garantire l'agibilità del sito al mezzo di perforazione è stata stabilita la rimozione di una parte della copertura di sicurezza da parte di una ditta specializzata individuata dalla DL.

Su tale base, facendo immediato seguito alla rimozione di parte della rete di sicurezza, in data 14/02/2014 sono iniziate le operazioni per la realizzazione del sondaggio geognostico, effettuato prevedendo il campionamento in continuo dei materiali durante l'avanzamento della perforazione.

Il sondaggio è stato eseguito con attrezzatura di perforazione tipo "sonda tradizionale".

La sonda è stata attrezzata con carotiere semplice di diametro pari a 131 mm.

In corso di avanzamento del sondaggio è risultato necessario il sostegno provvisorio delle pareti del foro con rivestimento di diametro 178 mm.

Il materiale prelevato è stato disposto in apposite cassette catalogatrici con indicazioni circa la denominazione del sondaggio, la data e le profondità del campionamento al fine di ricostruire la stratigrafica del sottosuolo e prelevare i campioni di terreno da analizzare.

La perforazione è stata eseguita a secco limitando al minimo possibile la velocità di rotazione al fine di indurre un basso riscaldamento del materiale campionato: tale precauzione ha avuto lo scopo di minimizzare la possibile migrazione di composti volatili in relazione all'innalzamento della temperatura dovuta all'attrito tra l'attrezzatura di perforazione ed il terreno.

In **ALL.3** si riportano le stratigrafie dei terreni attraversati, in **ALL.4** si riporta la documentazione fotografica inerente le cassette catalogatrici contenenti il terreno estratto.

Gli intervalli di campionamento e le modalità di analisi sono state definite come riportato nella seguente tabella, per garantire la massima confrontabilità con la Taratura Ante-operam:

SONDAGGIO	INTERVALLO DI PROFONDITÀ	ORIZZONTE DI RIFERIMENTO	TIPOLOGIA DI ANALISI
I4	2-3 m da p.c.	Orizzonte non saturo	Tal Quale
I4	5-6 m da p.c.	Orizzonte non saturo	Tal Quale
I4	8-9 m da p.c.	Orizzonte non saturo	Tal Quale
I4	11-12 m da p.c.	Orizzonte non saturo	Tal Quale
I4	14-15 m da p.c.	Orizzonte non saturo	Tal Quale
I4	17-18 m da p.c.	Orizzonte non saturo	Tal Quale
I4	22-23 m da p.c.	Orizzonte Oscillazione di Falda	Tal Quale
I4	23-24 m da p.c.	Orizzonte Oscillazione di Falda	Tal Quale
I4	24-25 m da p.c.	Orizzonte Oscillazione di Falda	Tal Quale
I4	22-23 m da p.c.	Orizzonte Oscillazione di Falda	Test di lisciviazione
I4	23-24 m da p.c.	Orizzonte Oscillazione di Falda	Test di lisciviazione
I4	24-25 m da p.c.	Orizzonte Oscillazione di Falda	Test di lisciviazione

5.2.2.2 Modalità di campionamento

Il terreno estratto per gravità dal carotiere è stato raccolto in idonee cassette catalogatrici conservate presso il cantiere.

I campioni di terreno destinati alle analisi di laboratorio sono stati prelevati in corrispondenza delle cassette catalogatrici.

I campioni di terreno sono predisposti in conformità ai disposti normativi di cui all'*All. 2 del Titolo V del D.lgs. 152/06*, procedendo con le seguenti operazioni:

- prelievo a mezzo paletta in acciaio INOX di una idonea quantità di materiale, depositato su telo in PVC sostituito al termine di ogni operazione di campionamento;
- Setacciatura del materiale con maglia metallica di luce 2,0 cm per la separazione della frazione granulometrica con diametro maggiore ai 2 cm;
- omogeneizzazione e quartatura del materiale passante depositato su telo in PVC;
- raccolta del materiale in barattoli di vetro con chiusura ermetica;
- identificazione del campione e dell'aliquota prelevata.

Al termine di ciascuna operazione di campionamento, si è proceduto alla pulizia dell'attrezzatura di campionamento e la sostituzione dei materiali di consumo.

I campioni sono stati conservati in luogo refrigerato sino alla consegna al laboratorio di analisi.

5.2.2.3 Metodologia di analisi

Le analisi di laboratorio, eseguite presso il laboratorio Lab Analysis Srl di Casanova Lonati (PV) hanno previsto n.2 tipologie di analisi:

- ✓ **Analisi sul Tal Quale** effettuate in corrispondenza di intervalli di terreno ricadenti sia nell'orizzonte non saturo che in quello saturo;
- ✓ **Test di lisciviazione** effettuato in corrispondenza di intervalli di terreno ricadenti nell'orizzonte di oscillazione della falda freatica.

5.2.2.3.1 Analisi sul Tal Quale

Le analisi di laboratorio sul materiale **Tal Quale** hanno previsto la determinazioni dei medesimi parametri e metodologie previsti per la fase ante-operam, per i quali si rimanda al cap.5.2.1.3.1:

5.2.2.3.2 Test di lisciviazione

Il **Test di lisciviazione** è stato realizzato su n.3 campioni di terreno suddivisi in n.3 aliquote ciascuno e ha previsto la determinazioni dei medesimi parametri e metodologie previsti per la fase ante-operam, per i quali si rimanda al cap.5.2.1.3.2.

5.3 MONITORAGGIO DELLE ACQUE DI FALDA

Il monitoraggio idrochimico delle acque di falda è stato effettuato mediante campionamento a mezzo elettropompa sommersa in corrispondenza di piezometri ubicati a monte e valle idrogeologico rispetto al campo prove (cfr. **ALL.1**).

Il monitoraggio delle acque di falda è stato condotto mediante il campionamento dinamico effettuato in corrispondenza del piezometro **Pz1** ubicato a monte idrogeologico rispetto alla direzione media di deflusso della falda e dei piezometri **Pz2** e **Pz3** ubicati a valle idrogeologico.

Il Pz3, già presente in sito con la denominazione G5, è dotato di propria pompa residente mentre i restanti piezometri non sono provvisti di impianto di sollevamento.

Si evidenzia che per problematiche tecniche occorse nell'Agosto 2013 il piezometro Pz1 non è risultato accessibile al campionamento; su tale base, si è proceduto al campionamento delle acque in corrispondenza del piezometro **CR12**, ubicato a monte idrogeologico in posizione idonea a sostituire il Pz1 come punto di monitoraggio sino all'eventuale ripristino di quest'ultimo.

Si evidenzia inoltre che su disposizione del Responsabile per la Sicurezza in Cantiere di ETRA S.p.A. il cantiere è stato interrotto per consentire la messa in sicurezza della copertura del capannone presso il quale si svolge il test. Su tale base, l'interruzione dell'insufflaggio e, conseguentemente, del monitoraggio idrochimico nel periodo compreso tra il 16/08/2013 de il 15/10/2013 ha determinato lo slittamento temporale del termine del test pilota.

Analogamente a quanto previsto per i terreni, la valutazione dell'efficacia degli interventi di bonifica previsti dal Progetto Operativo presentato da SAPIO ha previsto n. 3 fasi di monitoraggio:

- ✓ **Fase 1: Monitoraggio ante-operam**
- ✓ **Fase 2: Monitoraggio in operam**
- ✓ **Fase 3: Monitoraggio post-operam**

Conformemente a quanto previsto dal protocollo di monitoraggio, è stato effettuato il campionamento con frequenza mensile di **n.2 pozzi barriera** appartenenti alla batteria di pozzi presenti a presidio del sito e gestiti da ETRA.

5.3.1 Modalità di campionamento

In accordo con quanto indicato dal documento ***Procedure tecniche per la raccolta di dati ambientali - test pilota per l'iniezione di idrogeno in falda (Sapio) – ex Galvanica PM – Tezze sul Brenta*** redatto da Golder Associates nel Gennaio 2011 ed il successivo ***Integrazioni al test pilota per l'iniezione di idrogeno in falda (Sapio)*** del Maggio 2011, il monitoraggio delle acque di falda ha previsto il campionamento con modalità dinamica in corrispondenza di n.3 piezometri, dei quali n.1 a monte idrogeologico dell'area di trattamento (Pz1 per la prima fase del monitoraggio e CR12 per la fase successiva) e n.2 a valle idrogeologico di quest'ultima (Pz2 e Pz3).

Il campionamento delle acque di falda è stato eseguito con le seguenti modalità:

- Misurazione del livello di falda in condizioni statiche;
- Spurgo in continuo del piezometro per circa 30 minuti; per il piezometro Pz3 è stata utilizzata la pompa residente mentre per i piezometri Pz1, Pz2, CR12 è stata utilizzata una pompa da 3" di marca GRUNDFOSS modello S3 di portata pari a circa 0,8 l/sec con 25 m di prevalenza;
- Campionamento di n.3 aliquote di acqua da ciascun piezometro:
 - n.1 bottiglia da litro in vetro ambrato;
 - n.2 contenitori in PET da 50 ml per l'analisi dei metalli, previa filtrazione con filtro da 0,45 µm e acidificazione con 0,5 ml di acido nitrico suprapuro.

5.3.2 Fase 1 - Monitoraggio ante-operam

In data 21/02/2013 è stato effettuato il campionamento *ante-operam* in corrispondenza dei piezometri di monitoraggio.

5.3.3 Fase 2 - Frequenza del monitoraggio in operam

Tenuto conto dell'interruzione del cantiere occorsa nel periodo compreso tra il 16/08/2013 de il 15/10/2013, la frequenza dei campionamenti dei piezometri del campo prove è stata la seguente:

- campionamento giornaliero per le prime n.2 settimane dallo start up (15/04/2013 – 26/04/2013);
- campionamento settimanale dalla seconda alla sesta settimana (30/04/2013 – 22/05/2013);
- campionamento quindicinale sino alla conclusione del test (15/05/2013 – 18/12/2013).

Il campionamento in corrispondenza dei **pozzi barriera** è stato effettuato con frequenza mensile.

5.3.4 Fase 3 - Frequenza del monitoraggio post-operam

La frequenza dei campionamenti dei piezometri del campo prove è la seguente:

- campionamento dopo 2 giorni dallo spegnimento dell'impianto;
- campionamento dopo 15 giorni dallo spegnimento dell'impianto;
- campionamento dopo 30 giorni dallo spegnimento dell'impianto;
- campionamento dopo 90 giorni dallo spegnimento dell'impianto;

Alla data di redazione del presente documento sono disponibili i referti analitici dei campionamenti effettuati a 2 e 15 giorni dallo spegnimento.

5.3.5 Metodologia di analisi

Le analisi di laboratorio eseguite su tutte le aliquote di acqua di falda hanno previsto la determinazioni dei seguenti parametri e le seguenti metodologie di analisi:

ANALISI CHIMICHE	METODICHE ANALITICHE
pH	APAT CNR IRSA 2060 Man. 29 2003
Conducibilità elettrica a 25°C	ISO 5667-11:2009 + UNI EN 27888:1995
Ossigeno disciolto, Potenziale Redox	Sonda multiparametrica
Alcalinità totale	APAT CNR IRSA 2010 B Man 29 2003
TOC, DOC	UNI EN 1484:1999
Solfuri	APAT CNR IRSA 4160 Man 29 2003
Solfati	UNI EN ISO 10304-1: 2009
Fosfati	APAT CNR IRSA 4110 Met A1 Man 29 2003
Argento, Arsenico, Bario, Cadmio, Cobalto, Cromo totale, Ferro, Manganese, Molibdeno, Rame, Nichel, Piombo, Zinco, Stagno, Mercurio, Selenio,	EPA 6020 2007
Cromo VI	APAT CNR IRSA 3150 C Man 29 2003

6.2 MONITORAGGIO DEI TERRENI

Di seguito si riportano gli esiti delle analisi di laboratorio effettuate sui campioni di terreno prelevati nel corso delle n. 2 fasi di monitoraggio:

- ✓ Fase 1: Monitoraggio ante-operam
- ✓ Fase 2: Monitoraggio post-operam

6.2.1 Monitoraggio Ante-operam

Il monitoraggio ante-operam ha previsto il campionamento di terreno prelevato nel corso delle operazioni di realizzazione degli impianti sottosuolo, con particolare riferimento alla realizzazione dei punti di insufflaggio e monitoraggio dei gas.

In particolare, come descritto al cap. 5.2.1, in conformità con il “protocollo Golder” sono stati prelevati n.9 campioni di terreno da sottoporre ad analisi di laboratorio sul materiale Tal Quale e n.3 campioni, suddivisi in n.3 aliquote ciascuno (triplette), da sottoporre a test di lisciviazione secondo i contenuti della Documentazione Tecnica di riferimento.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti.

6.2.1.1 Analisi sul Tal Quale

Il complesso delle analisi effettuate sui campioni di terreno Tal Quale prelevati in corrispondenza del sondaggio I2, i cui dati complessivi sono riportati nella tabella sinottica dell'ALL.7, evidenzia quanto segue:

- il **superamento dei limiti normativi di cui al D.Lgs. 152/06 –Tab. 1, Col. B** per il parametro Cromo Totale (2,0-3,0 m da p.c.)
- il **superamento dei limiti normativi di cui al D.Lgs. 152/06 –Tab. 1, Col. A** per i parametri:
 - Cromo esavalente (2,0-3,0 / 5,0-6,0 / 8,0-9,0 m da p.c.)
 - Stagno (2,0-3,0 m da p.c.)
 - Nichel (2,0-3,0 m da p.c.)
- la **conformità ai limiti normativi di cui al D.Lgs. 152/06 –Tab. 1, Col. A** per i restanti campioni, relativamente ai parametri analizzati.

Nella seguente tabella sono riportati i valori di concentrazione-profondità dei parametri che presentano valori non conformi ai limiti normativi

	Cr tot	Cr VI	Stagno	Nichel
lim.col.A	150	2	1	120
lim.col.B	800	15	350	500
I2 (2,0-3,0)	2110	11,1	4,4	337
I2 (5,0-6,0)	45,8	11,6	0,28	40
I2 (8,0-9,0)	15	4,2	< 0,21	25
I2 (11,0-12,0)	11,2	1,18	< 0,21	6,8
I2 (14,0-15,0)	20,1	0,58	0,21	3,77
I2 (17,0-18,0)	27,5	1,43	< 0,21	21,1
I2 (22,0-23,0)	17	1,21	< 0,21	10,8
I2 (23,0-24,0)	21,9	1,4	< 0,21	12
I2 (24,0-25,0)	26,3	1,5	< 0,21	13,5

Tabella 6-1 – Analisi terreno Tal Quale – Ante operam

Facendo riferimento alle CSR di cui all'Analisi di rischio sito specifica per il **Cr VI** (cfr. tabella di Figura 1-1), alle condizioni ante-operam si evidenzia quanto segue:

- TERRENO INSATURO (0-22 m da p.c.): **conformità alle CSR**
- TERRENO SATURO (22-25 m da p.c.): **non conformità alle CSR per il ricettore FALDA per tutti i campioni analizzati**
- TERRENO SATURO (22-25 m da p.c.): **conformità alle CSR per il RISCHIO SANITARIO per tutti i campioni analizzati**

In **ALL.7** si riporta la tabella sinottica del complesso delle analisi effettuate sul Tal Quale, inerenti il campionamento *ante-operam*.

6.2.1.2 Test di Lisciviazione

Il test di lisciviazione effettuato sulla tripletta di campioni prelevati in corrispondenza dell'orizzonte di oscillazione della falda consente di valutare la suscettibilità del contaminante di passare dalla matrice terreno alla matrice acqua di falda.

In particolare, nella seguente tabella si riportano i risultati ottenuti relativamente ai parametri Cromo totale e Cromo esavalente per ciascuna delle n.3 aliquote analizzate (tripletta).

	Identificazione:	I3 Prof. 22-23 m - Aliquota A	I3 Prof. 22-23 m - Aliquota B	I3 Prof. 22-23 m - Aliquota C
	Data Prelievo:	15/04/13	15/04/13	15/04/13
Prova	Un.Mis.			
Cromo totale	mg/l	0,043	0,069	0,075
Cromo VI	mg/l	0,012	0,056	0,051
	Identificazione:	I3 Prof. 23-24 m - Aliquota A	I3 Prof. 23-24 m - Aliquota B	I3 Prof. 23-24 m - Aliquota C
	Data Prelievo:	15/04/13	15/04/13	15/04/13
Prova	Un.Mis.			
Cromo totale	mg/l	0,018	0,014	0,017
Cromo VI	mg/l	< 0,009	0,01	0,01
	Identificazione:	I3 Prof. 24-25 m - Aliquota A	I3 Prof. 24-25 m - Aliquota B	I3 Prof. 24-25 m - Aliquota C
	Data Prelievo:	15/04/13	15/04/13	15/04/13
Prova	Un.Mis.			
Cromo totale	mg/l	0,026	0,0201	0,026
Cromo VI	mg/l	< 0,009	< 0,009	< 0,009

Tabella 6-2 Test di lisciviazione – Ante operam

In **ALL.7** si riporta la tabella sinottica del complesso degli esiti del test di lisciviazione, inerenti il campionamento *ante-operam*.

6.2.2 Monitoraggio Post-operam

Il monitoraggio post-operam ha previsto il campionamento della matrice terreno, prelevata in corrispondenza dei medesimi orizzonti previsti per il campionamento *ante-operam* nel corso della realizzazione di n.1 sondaggio geognostico denominato I4.

In particolare, come descritto al cap. 5.2.2 sono stati prelevati n.9 campioni di terreno da sottoporre ad analisi di laboratorio sul materiale Tal Quale e n.3 campioni, suddivisi in n.3 aliquote ciascuno (triplette), da sottoporre a test di lisciviazione secondo i contenuti della Documentazione Tecnica di riferimento.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti.

6.2.2.1 Analisi sul Tal Quale

Il complesso delle analisi sul Tal Quale effettuate sui campioni di terreno prelevati in corrispondenza del sondaggio I4, i cui dati complessivi sono riportati nella tabella sinottica dell'**ALL.7** evidenzia quanto segue:

- il **superamento dei limiti normativi di cui al D.Lgs. 152/06 –Tab. 1, Col. A** per il parametro Cromo VI (2,0-3,0 m da p.c.)
- la **conformità ai limiti normativi di cui al D.Lgs. 152/06 –Tab. 1, Col. A** per i restanti campioni, relativamente ai parametri analizzati.

Nella seguente tabella sono riportati i valori di concentrazione-profondità dei parametri che presentavano valori non conformi ai limiti normativi in occasione del monitoraggio ante-operam eseguito in corrispondenza del sondaggio I2 (cfr. Tabella 6-1); per tutti gli altri parametri, si conferma l'assenza di superamenti.

	Cr tot	Cr VI	Stagno	Nichel
lim.col.A	150	2	1	120
lim.col.B	800	15	350	500
I4 (2,0-3,0)	13,1	12,8	0,3	6,3
I4 (5,0-6,0)	18,1	0,33	0,3	6,1
I4 (8,0-9,0)	22,7	0,31	0,39	35
I4 (11,0-12,0)	10,5	0,33	0,13	6,4
I4 (14,0-15,0)	23,4	0,31	0,29	5
I4 (17,0-18,0)	7,3	0,33	0,37	5,6
I4 (22,0-23,0)	6,4	0,31	0,47	3,7
I4 (23,0-24,0)	6,3	0,32	0,19	3,6
I4 (24,0-25,0)	6,3	0,32	0,27	4,6

Tabella 6-3 Analisi terreno Tal Quale – Post operam

Facendo riferimento alle CSR di cui all'Analisi di rischio sito specifica per il **Cr VI** (cfr. tabella di Figura 1-1), alle condizioni post-operam si evidenzia quanto segue:

- TERRENO INSATURO (0-22 m da p.c.): **conformità alle CSR**
- TERRENO SATURO (22-25 m da p.c.): **conformità alle CSR**

In **ALL.7** si riporta la tabella sinottica del complesso delle analisi effettuate sul Tal Quale, inerenti il campionamento *post-operam*.

6.2.2.2 Test di Lisciviazione

Il test di lisciviazione effettuato sulla tripletta di campioni prelevati in corrispondenza dell'orizzonte di oscillazione della falda nel corso del campionamento post-operam consente di valutare la suscettibilità del contaminante di passare dalla matrice terreno alla matrice acqua di falda dopo il periodo di trattamento con metodologia Soilution.

In particolare, nella seguente tabella si riportano i risultati ottenuti relativamente ai parametri Cromo totale e Cromo esavalente

	Identificazione:	I4 Prof. 22-23 m - Aliquota A	I4 Prof. 22-23 m - Aliquota B	I4 Prof. 22-23 m - Aliquota C
	Data Prelievo:	19/02/14	19/02/14	19/02/14
Prova	Un.Mis.			
Cromo totale	mg/l	0,00103	0,00066	0,00044
Cromo VI	mg/l	< 0,009	< 0,009	< 0,009
	Identificazione:	I4 Prof. 23-24 m - Aliquota A	I4 Prof. 23-24 m - Aliquota B	I4 Prof. 23-24 m - Aliquota C
	Data Prelievo:	19/02/14	19/02/14	19/02/14
Prova	Un.Mis.			
Cromo totale	mg/l	0,00049	0,00102	0,00048
Cromo VI	mg/l	< 0,009	< 0,009	< 0,009
	Identificazione:	I4 Prof. 24-25 m - Aliquota A	I4 Prof. 24-25 m - Aliquota B	I4 Prof. 24-25 m - Aliquota C
	Data Prelievo:	19/02/14	19/02/14	19/02/14
Prova	Un.Mis.			
Cromo totale	mg/l	0,00145	0,0006	0,00063
Cromo VI	mg/l	< 0,009	< 0,009	< 0,009

Tabella 6-4 – Test di lisciviazione – Post operam

In **ALL.7** si riporta la tabella sinottica del complesso degli esiti del test di lisciviazione, inerenti il campionamento *post-operam*.

6.2.3 Confronto dei risultati

Il confronto dei valori di concentrazione del terreno tal quale riportati nella Tabella 6-1 e Tabella 6-2 relative al monitoraggio ante-operam con quelli riportati nella Tabella 6-3 e Tabella 6-4 relativi al campionamento post-operam evidenzia quanto segue:

ANALISI SUL TERRENO TAL QUALE

- Il monitoraggio post-operam evidenzia la generale diminuzione della concentrazione dei contaminanti nella matrice terreno; in particolare, in corrispondenza del sondaggio I4 effettuato al termine del periodo di insufflaggio del gas si osserva il solo superamento dei limiti normativi per il parametro Cr VI nell'intervallo compreso tra 2,0 e 3,0 m da p.c. a fronte di diffusi superamenti per il parametro Cr VI sino a 9,0 m da p.c. evidenziati dal monitoraggio ante-operam;
- Ad eccezione dell'intervallo compreso tra 2,0 e 3,0 m da p.c., dove le concentrazioni di Cr VI ante e post operam sono sostanzialmente confrontabili, nei successivi intervalli di profondità si rileva la diminuzione del parametro da valori di concentrazione compresi tra 0,58 e 11,6 mg/kg SS (monitoraggio ante-operam) a valori inferiori al limite di rilevabilità del metodo analitico (0,31÷0,35 mg/kg SS – monitoraggio post-operam).

La persistenza di un valore relativamente elevato di Cr VI nell'intervallo 2,0-3,0 m da p.c. può essere ascritto sia alla diversa rappresentatività dei relativi campioni che, in quanto superficiali, possono aver risentito dei diversi livelli di condizionamento e manipolazione del primo sottosuolo anche in conseguenza delle attività svolte nel sito anche in corso di esecuzione del test: a tal proposito, si ricordano i diversi eventi di allagamento dell'area di test occorsi in fase di esecuzione di altre attività di test in corso nell'area.

Nei seguenti grafici si riporta l'andamento in profondità della concentrazione di Cromo VI e Cromo totale, con il confronto fra i valori di concentrazione relativi al campionamento ante operam (sondaggio I2) e post-operam (sondaggio I4).

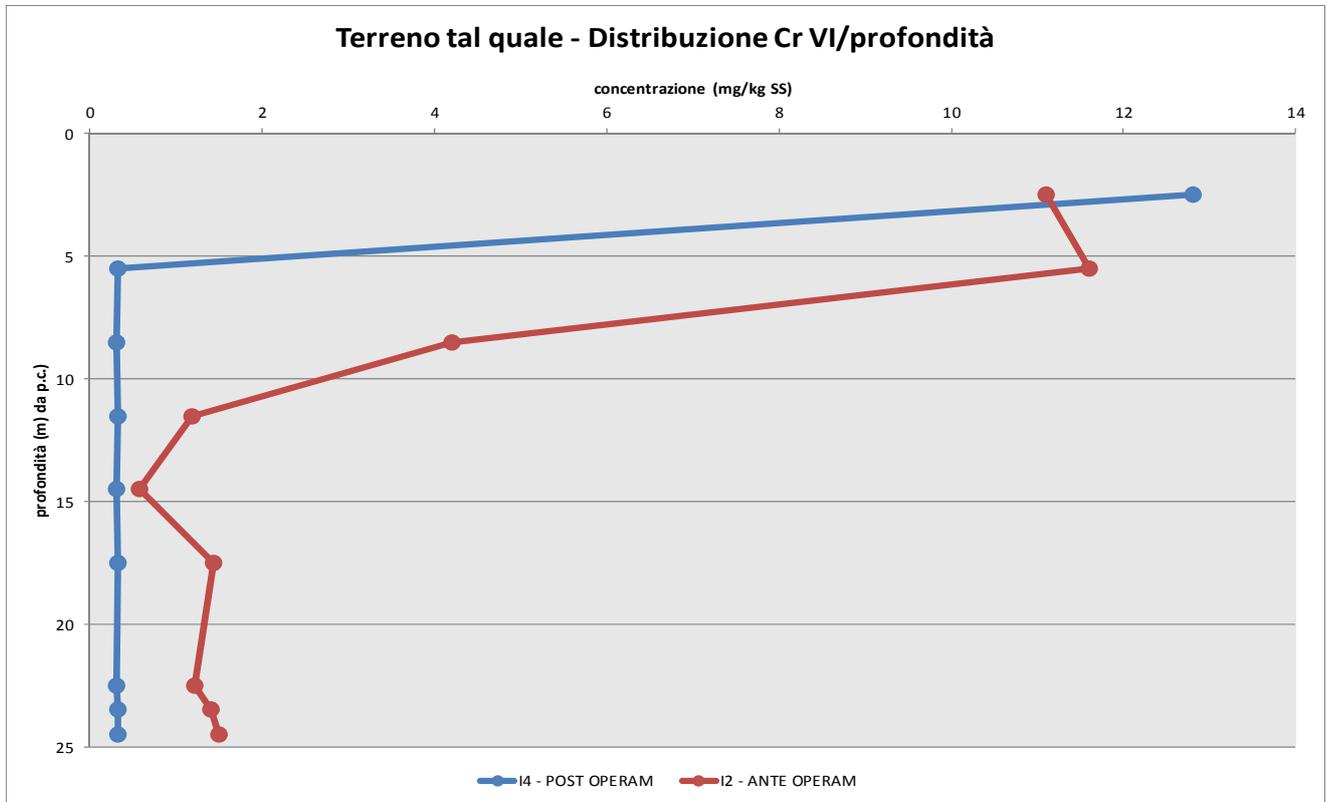


Figura 6-2 - Analisi terreno Tal Quale – Distribuzione del Cr VI con la profondità

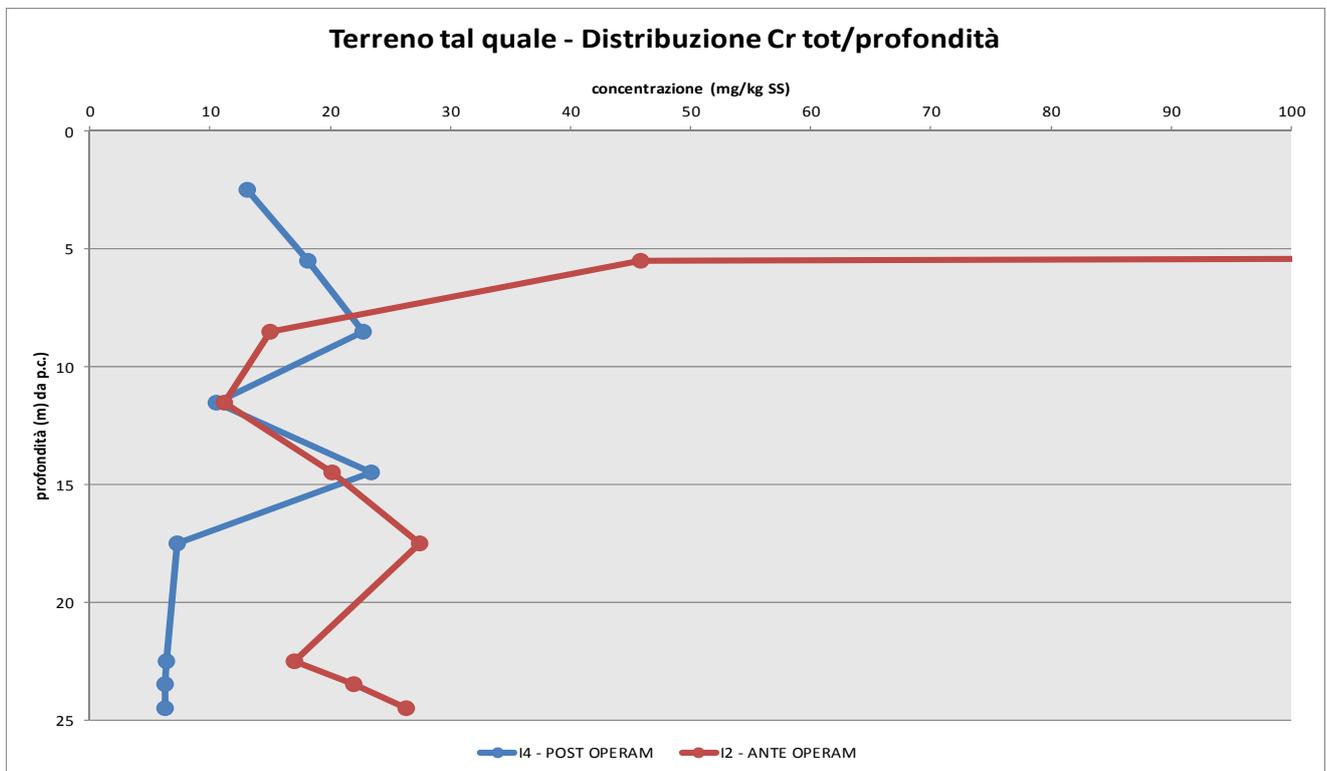


Figura 6-3 - Analisi terreno Tal Quale – Distribuzione del Cr tot con la profondità

Si evidenzia che nella costruzione dei grafici i valori inferiori al limite di sensibilità del metodo analitico utilizzato sono stati graficizzati utilizzando cautelativamente il rispettivo valore limite (per esempio, il valore analitico “>0,31 mg/kg SS” è stato graficizzato come “0,31 mg/kg SS”)

Dall’osservazione della Figura 6-2 si evince come la concentrazione di Cr VI nel terreno prelevato nel corso del monitoraggio ante-operam sia sempre superiore a quella riscontrata dalle analisi su terreno prelevato nel monitoraggio post-operam con l’eccezione dell’orizzonte compreso tra 2,0 e 3,0 m da p.c.

La Figura 6-3 mostra la diminuzione con la profondità della concentrazione di Cr tot: ad eccezione del primo orizzonte campionato (2,0-3,0 m da p.c.) che evidenzia un valore relativamente elevato di Cr tot (fuori scala nel grafico di Figura 6-3) in corrispondenza del sondaggio I2, i restanti valori di concentrazione sono variabili in un range compreso tra circa 6 e 27 mg/kg SS senza evidenziare una particolare tendenza evolutiva, sebbene a partire dai 17,0 m da p.c. le concentrazioni post-operam siano costantemente inferiori a quelle ante operam .

Nella Figura 6-4 si graficizza la distribuzione del rapporto tra Cr tot/Cr VI con la profondità.

Partendo dal presupposto che a seguito del trattamento del terreno di riduzione con metodologia SOILUTION il Cromo esavalente venga ridotto a cromo trivalente, è verosimile attendersi un incremento nel tempo del rapporto Cr tot/ Cr VI, a prescindere dai valori di partenza della concentrazione dei singoli parametri.

Su tale base, anche nel caso in cui la diversa ubicazione dei sondaggi ante e post operam possa determinare valori assoluti di concentrazione di partenza difformi, è verosimile ritenere che il rapporto Cr VI / Cr tot sia confrontabile su tutto il comparto omogeneo di indagine.

Dall’osservazione della Figura 6-4 si evince che il rapporto Cr VI / Cr tot aumenta, come atteso, lungo tutta la verticale indagata e con la sola eccezione del primo orizzonte (2,0-3,0).

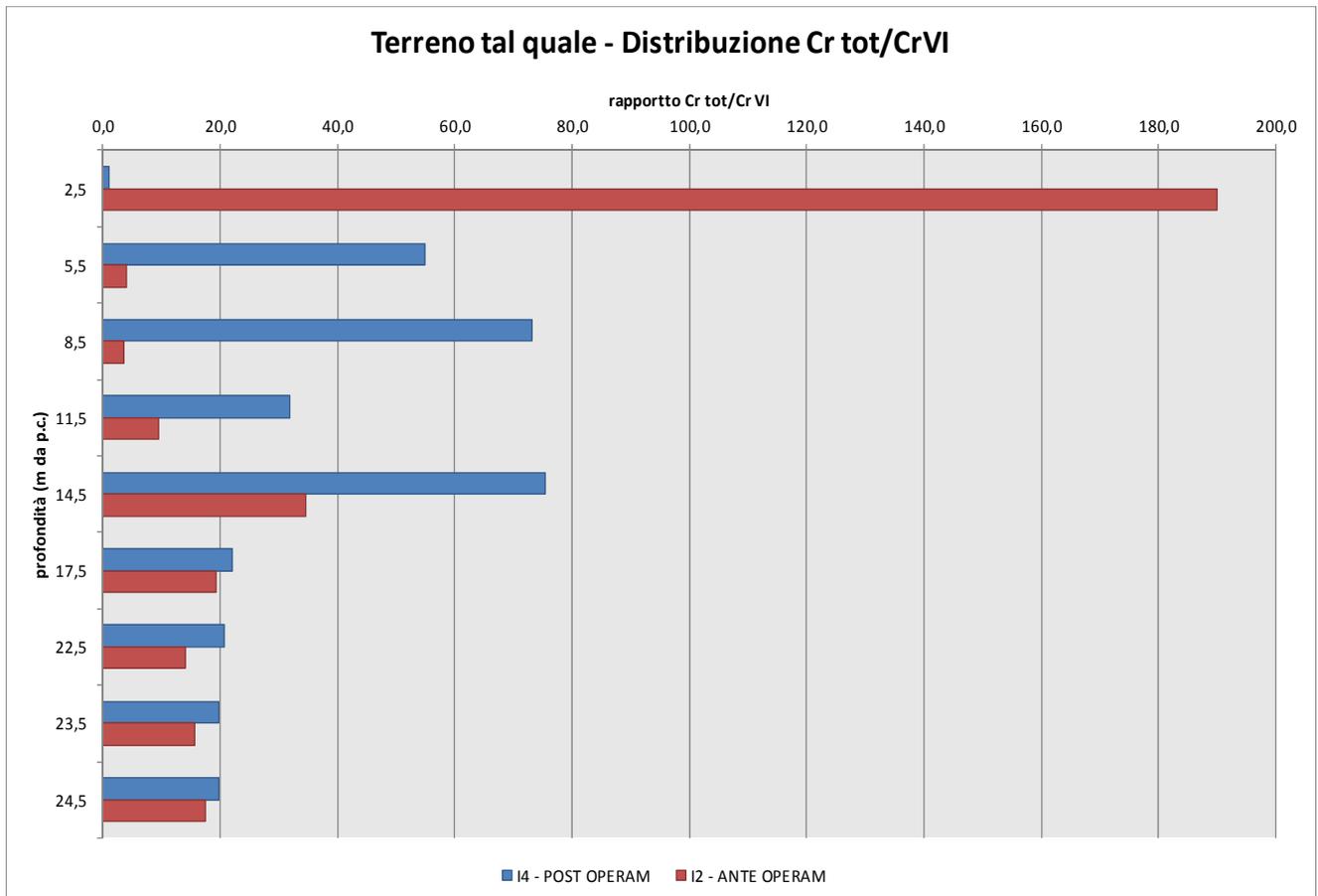


Figura 6-4 - Analisi terreno Tal Quale – Distribuzione del rapporto Cr tot/Cr VI con la profondità

Si evidenzia che l'utilizzo del valore limite di sensibilità per la graficizzazione dei valori di I4 inferiori a tale limite introduce una sottostima del rapporto di Cr tot/Cr VI.

La seguente Figura 6-5 graficizza la riduzione percentuale del parametro Cromo esavalente espresso come rapporto tra la concentrazione rilevata in corrispondenza del sondaggio I2 (ante-operam) ed il sondaggio I4 (post-operam) alle medesime profondità.

Dall'osservazione del grafico si evince quanto segue:

- ✓ nel primo orizzonte campionato (2,0-3,0 m da p.c.) non si evidenzia una riduzione percentuale apprezzabile della concentrazione;
- ✓ nell'orizzonte insaturo compreso tra 5,0/6,0 e 16,0/17,0 m da p.c. si osserva una riduzione percentuale della contaminazione compresa tra il 47% ed il 97%;
- ✓ nell'orizzonte di oscillazione della falda (22,0-25 m da p.c.) si osserva una riduzione percentuale della contaminazione compresa tra il 74% ed il 79%

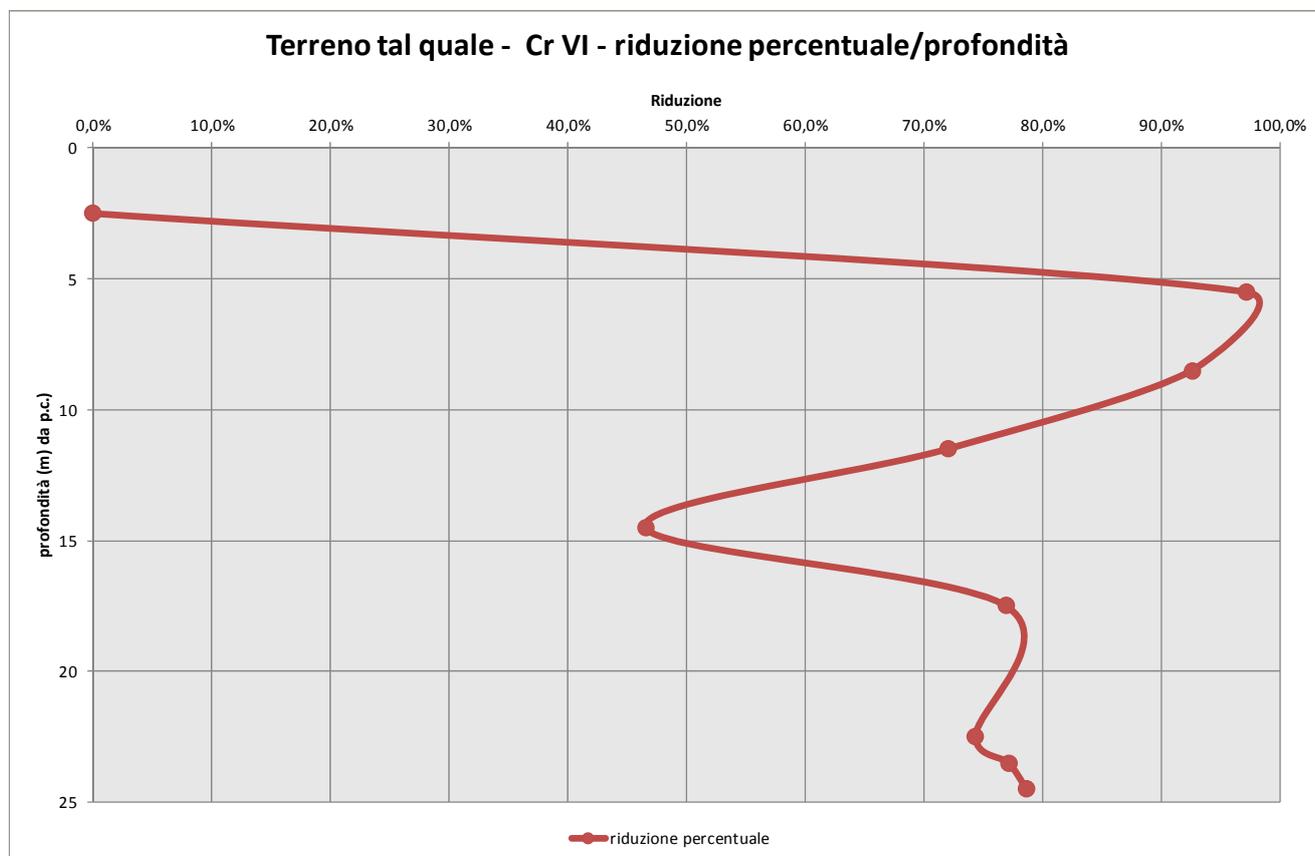


Figura 6-5 - Analisi terreno Tal Quale – riduzione percentuale del Cr VI con la profondità

Si evidenzia che l'utilizzo del valore limite di sensibilità per la graficizzazione dei valori di I4 inferiori a tale limite introduce una sottostima della percentuale di riduzione del Cr VI.

Relativamente alle CSR individuate dall'Analisi di Rischio per il Cr VI, si evidenzia quanto segue:

- ✓ relativamente al TERRENO INSATURO (0-22 m da p.c.), sia il monitoraggio ante-operam che quello post-operam mostrano la **conformità alle CSR per tutti i campioni analizzati**;
- ✓ relativamente al TERRENO SATURO (22-25), il monitoraggio ante-operam mostra la **non conformità alle CSR per il ricettore FALDA per tutti i campioni analizzati** mentre il monitoraggio post-operam evidenzia la **conformità alle CSR**.

TEST DI LISCIVIAZIONE

- Il monitoraggio post-operam evidenzia la generale diminuzione della concentrazione dei contaminanti ceduti al mezzo lisciviante per tutti i parametri;
- In particolare, per il parametro Cr VI si osserva la pressoché totale diminuzione della concentrazione ceduta nell'orizzonte 22,0-25,0 m da p.c. (inferiore al limite di rilevabilità del metodo analitico), a fronte di valori apprezzabili compresi tra 10 e 39 µg/l rilevati dal campionamento ante operam;
- Relativamente al parametro Cromo tot, dal confronto tra le analisi ante e post operam si osserva la diminuzione della concentrazione ceduta nell'orizzonte 22,0-25,0 m da p.c. pari a due ordini di grandezza

Nella Figura 6-6 e Figura 6-7 si riportano i grafici relativi al confronto delle concentrazioni medie (media numerica di ciascuna tripletta di campioni) rilevate nel corso del campionamento ante e post operam.

Dall'osservazione dei grafici appare evidente la sostanziale diminuzione della concentrazione di cr VI e cr tot nell'eluato.

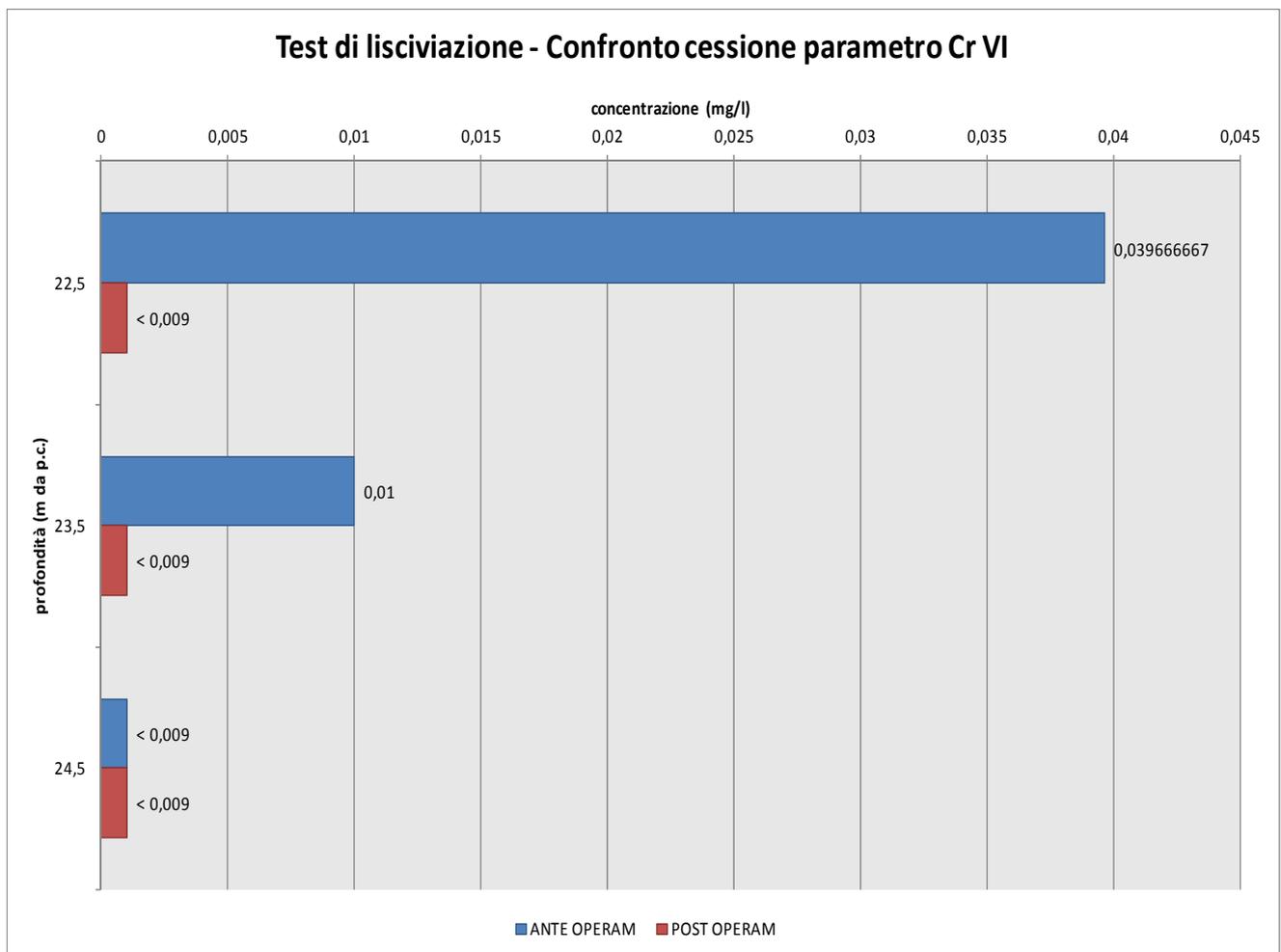


Figura 6-6 – Test di lisciviazione – Cessione del parametro Cr VI - Confronto Ante e Post Operam

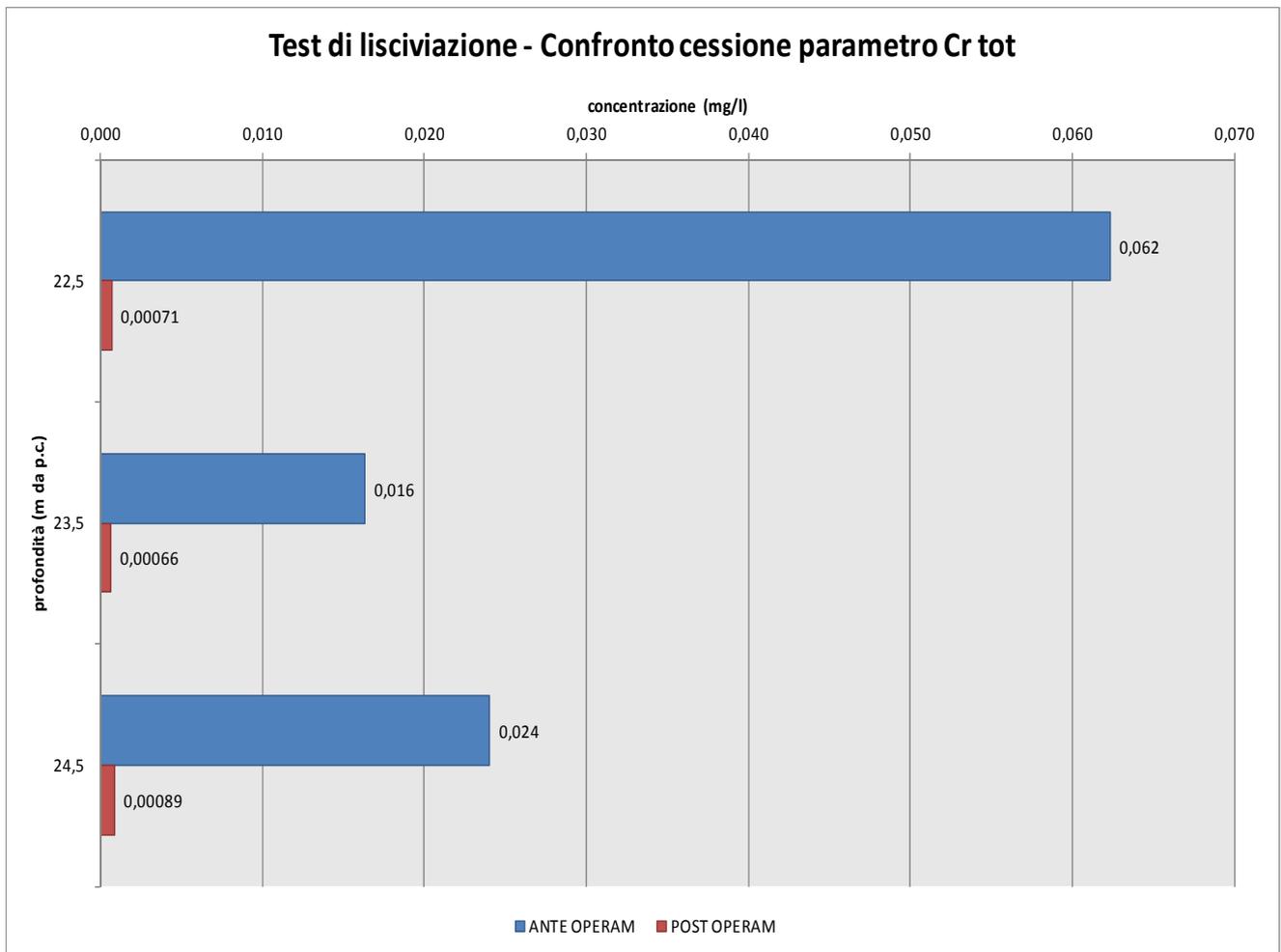


Figura 6-7 - Test di lisciviazione – Cessione del parametro Cr tot - Confronto Ante e Post Operam

6.3 MONITORAGGIO DELLE ACQUE DI FALDA

Di seguito si riportano gli esiti del monitoraggio piezometrico ed idrochimico effettuato in n.3 fasi successive:

- Monitoraggio Ante-operam eseguito in data 21/02/2013, ovvero, prima dell'attivazione degli impianti;
- Monitoraggio In Operam eseguito nel periodo compreso tra lo start-up (15/04/2013) ed il termine del Test (18/12/2013); come precedentemente indicato, il fermo del cantiere disposto dalla Direzione Lavori nel periodo compreso tra il 16/08/2013 de il 15/10/2013 ha determinato lo slittamento temporale del termine del test pilota.
- Monitoraggio Post-operam da effettuarsi al termine del Test (18/12/2013) con cadenza pari a 2, 15, 30 e 90 giorni;

Le analisi effettuate sono relative ai parametri Cr totale, Cr (VI), As, Ag, Ba, Cd, Co, Cu , Sn, Mn, Fe, Hg, Mo, Ni, Pb, Se e Zn, carbonio organico totale (TOC), solfuro totale, fosfati totali, solfati, carbonio organico disciolto (DOC), alcalinità, pH, redox potenziale (ORP), l'ossigeno disciolto (DO) e conducibilità.

Come precedentemente indicato, a partire dalla ripresa del test di trattabilità avvenuta in data 16/10/2013 il punto di campionamento Pz1 è stato sostituito dal piezometro CR12 a causa di problemi tecnici di accessibilità al Pz1.

Su tale base, nel commento ai grafici di cui ai capitoli seguenti verrà valutata anche la conformità dei risultati ottenuti assumendo il punto CR12 quale punto di prelievo di "monte idrogeologico" in sostituzione a Pz1.

6.3.1 Monitoraggio Ante-operam

In data 21/02/2013 sono stati prelevati n.3 campioni di acqua di falda in corrispondenza dei piezometri Pz1, Pz2 e Pz3 con le modalità di cui al cap. 5.3.1 finalizzati alla ricerca dei parametri di cui al cap. 5.3.5.

Nella seguente tabella si riporta il complesso delle analisi, per il dettaglio si rimanda all'**ALL.8 – Tavola sinottica** e **ALL.12 su CD-ROM – Certificazioni analitiche di laboratorio**):

Prova	Un.Mis.	Limite D.Lgs.152/06	Pz 1	Pz 2	Pz 3
pH	unità pH		7,4	7,3	7,4
Potenziale Redox	mV		-58,6	-47,1	-33,6
Ossigeno disciolto	mg/l		8,7	8,7	8,4
Conducibilità elettrica a 25°C	uS/cm		389	387	339
Alcalinità Totale	mgCaCO3/l		182	178	264
DOC	mg/l		0,40	0,30	0,22
Solfati	mgSO4/l	250	18,0	18,6	16,0
Fosfati	ugP2O5/l		28,4	25,0	25,0
Solfuri	mg/l		< 0,4	< 0,4	< 0,4
TOC	mg/l		0,43	0,35	0,225
Cromo totale	ug/l	50	37,7	232	22,1
Cromo VI	ug/l	5	31,3	230	21,1
Arsenico	ug/l	10	1,41	1,89	1,1
Argento	ug/l	10	< 0,61	< 0,61	< 0,61
Bario	ug/l		31,0	29,2	27,2
Cadmio	ug/l	5	< 0,17	< 0,17	< 0,17
Cobalto	ug/l	50	< 0,66	< 0,66	< 0,66
Rame	ug/l	1000	1,62	1,68	3,8
Stagno	ug/l		< 0,068	< 0,068	< 0,068
Manganese	ug/l	50	< 0,44	< 0,44	< 0,44
Ferro	ug/l	200	< 4,9	< 4,9	< 4,9
Molibdeno	ug/l		0,71	0,62	0,63
Zinco	ug/l	3000	9,9	8,9	48,1
Nichel	ug/l	20	4,1	5,8	1,45
Mercurio	ug/l	1	0,23	0,070	< 0,04
Piombo	ug/l	10	< 0,62	< 0,62	< 0,62
Selenio	ug/l	10	< 1,1	< 1,1	< 1,1

Tabella 6-5 – Analisi acque di falda – monitoraggio ante operam

Dall'osservazione della Tabella 6-5 si evince quanto segue:

- **Pz1 (monte idrogeologico)**
 - ✓ si evidenzia il superamento dei limiti normativi di cui al D.Lgs. 152/06 relativamente al parametro CrVI con concentrazione pari a 31,3 µg/l a fronte di un limite pari a 5,0 µg/l;
 - ✓ per i restanti parametri, non si osservano superamenti dei limiti normativi.
- **Pz2 (valle idrogeologico)**
 - ✓ si evidenzia il superamento dei limiti normativi di cui al D.Lgs. 152/06 relativamente ai parametri Cr tot e CrVI con concentrazione rispettivamente pari a 232 µg/l e 230 µg/l;
 - ✓ per i restanti parametri, non si osservano superamenti dei limiti normativi.
- **Pz3 (valle idrogeologico)**
 - ✓ si evidenzia il superamento dei limiti normativi di cui al D.Lgs. 152/06 relativamente al parametro CrVI con concentrazione pari a 21,1 µg/l a fronte di un limite pari a 5,0 µg/l;
 - ✓ per i restanti parametri, non si osservano superamenti dei limiti normativi.

Relativamente al bilancio idrogeologico “monte-valle” rispetto all’area di trattamento in condizioni ante-operam si considera quanto segue:

- relativamente ai parametri Cr tot e Cr VI si osserva la concentrazione massima in corrispondenza del piezometro PZ2 (piezometro di valle idrogeologico), di un ordine di grandezza superiore sia del piezometro PZ1 (piezometro di monte idrogeologico) che del Pz3 ((piezometro di valle idrogeologico);
- per i restanti parametri si osserva il sostanziale bilancio idrochimico “monte-valle”.

Su tale base, è possibile affermare che nelle condizioni ante-operam l’apporto dei contaminanti Cr tot e Cr VI da monte idrogeologico è pari rispettivamente a 37,7 µg/l e 31,3 µg/l, mentre a valle dell’area di trattamento si rilevano valori di 232 µg/l e 230 µg/l in corrispondenza del Pz2: si evidenzia pertanto un sostanziale contributo da parte dell’area sottoposta a test di trattabilità.

Relativamente al bilancio idrochimico tra il Pz1 e il Pz2, non si osserva in tale fase un contributo alla contaminazione da parte dell’area di previsto trattamento.

6.3.2 Monitoraggio In Operam

Il monitoraggio In Operam ha previsto il campionamento in corrispondenza dei piezometri Pz1/CR12, Pz2 e Pz3 con le modalità di cui al cap. 5.3.3, finalizzati alla ricerca dei parametri di cui al cap. 5.3.5.

Prima di ciascuna operazione di campionamento è stata prevista una campagna di monitoraggio piezometrico mediante misurazione della soggiacenza a mezzo freatimetro.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti; per il dettaglio delle analisi si rimanda all'**ALL.8 – Tavola sinottica e ALL.12 su CD-ROM – Certificazioni analitiche di laboratorio**).

Come già evidenziato, in relazione a problematiche tecniche occorse nell’Agosto 2013, il piezometro Pz1 non è risultato accessibile al campionamento; su tale base, a partire dalla ripresa del monitoraggio il 16/10/2013 si è proceduto al campionamento delle acque in corrispondenza del piezometro **CR12**, ubicato a monte idrogeologico in posizione idonea a sostituire il Pz1 come punto di monitoraggio sino all’eventuale ripristino di quest’ultimo.

6.3.2.1 Soggiacenza

In Figura 6-8 si riportano le misurazioni del livello freatico effettuato mediante freatimetro prima di ciascuna operazione di campionamento.

La misurazione si riferisce alla soggiacenza della falda misurata dalla bocca pozzo del piezometro.

Le misurazioni effettuate evidenziano quanto segue:

- **Pz1** – la soggiacenza è compresa tra un minimo pari a 20,96 m da bocca pozzo il 9 Agosto ed un massimo pari a 22,73 m da bocca pozzo il 15 Aprile (periodo di rilevazione 15/04/2013 – 09/08/2013);
- **Pz2** – la soggiacenza è compresa tra un minimo pari a 21,07 m da bocca pozzo il 9 Agosto ed un massimo pari a 24,20 m da bocca pozzo il 18 Dicembre;

- **Pz3** – la soggiacenza è compresa tra un minimo pari a 21,17 m da bocca pozzo il 9 Agosto ed un massimo pari a 24,29 m da bocca pozzo il 18 Dicembre;
- **CR12** – nel periodo 15/10/2013 – 18/12/2013 la soggiacenza è compresa tra un minimo pari a 23,59 m da bocca pozzo il 16 Ottobre ed un massimo pari a 24,60 m da bocca pozzo il 18 Dicembre;

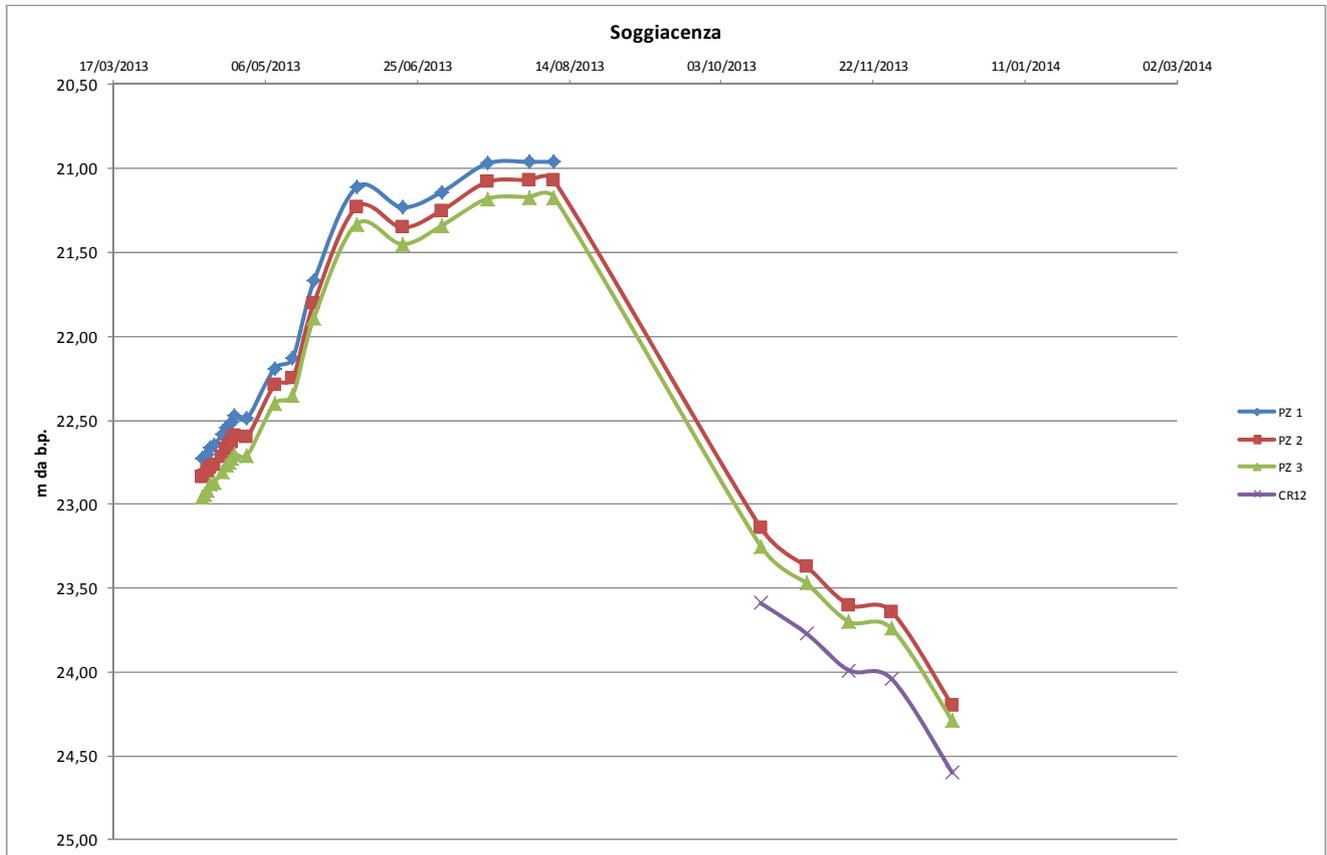


Figura 6-8 – Soggiacenza della falda – monitoraggio in operam

Dall'osservazione del grafico di cui alla Figura 6-8 si evince quanto segue:

- l'andamento della soggiacenza risulta sempre confrontabile tra i piezometri;
- in corrispondenza del sito la soggiacenza diminuisce nel periodo compreso tra Aprile e Agosto mentre aumenta da Agosto fino all'ultima misurazione effettuata in data 18/12/2013, con un'escursione media pari a 3,13 m;
- L'andamento della soggiacenza in corrispondenza del piezometro CR12 è confrontabile e conforme con quanto rilevato in corrispondenza del Pz1 nel relativo periodo di riferimento: su tale base, è possibile concludere che il piezometro CR12 appare idrogeologicamente idoneo a integrare il monitoraggio della falda a seguito della non agibilità del piezometro Pz1.

6.3.2.2 Cromo Esavalente

Il limite normativo di cui al *D.Lgs. 152/06 – Titolo V – Parte Quarta, All. 5, Tab. 2* per il parametro **Cromo VI** nelle acque di falda è pari a **5,0 µg/l**.

Nelle seguenti figure si riporta l'andamento del parametro Cromo VI nel periodo di osservazione.

Per facilitare la lettura dei grafici in presenza di valori di concentrazione che nel primo periodo di test differivano di due ordini di grandezza, i valori relativi al Pz2 sono stati graficizzati separatamente (Figura 6-10).

In Figura 6-11 si riporta nel medesimo grafico il complesso dei dati allorché, dopo il campionamento effettuato in data 20/06, i valori vengono ricompresi nello stesso ordine di grandezza.

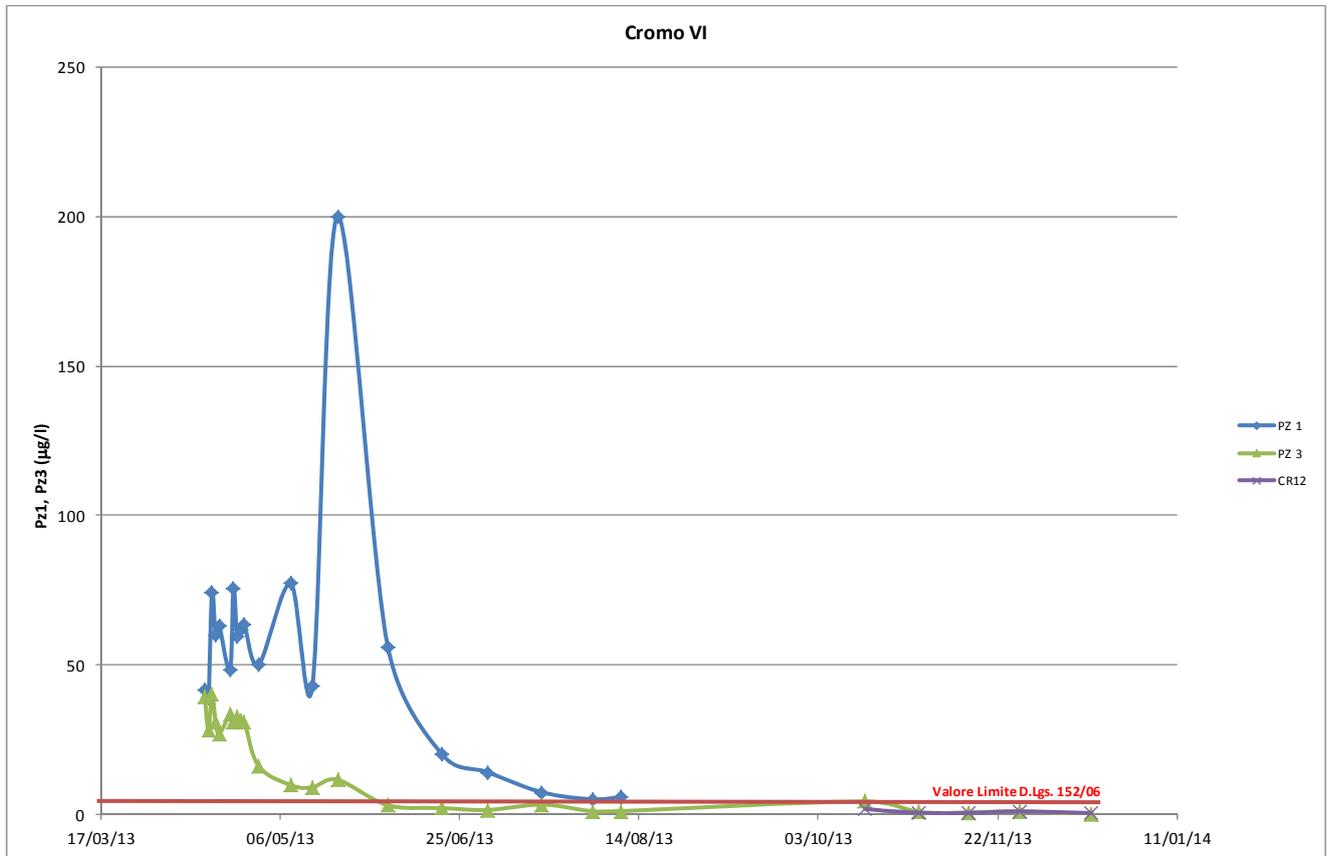


Figura 6-9 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Cromo VI (Pz1, Pz3, Cr12)

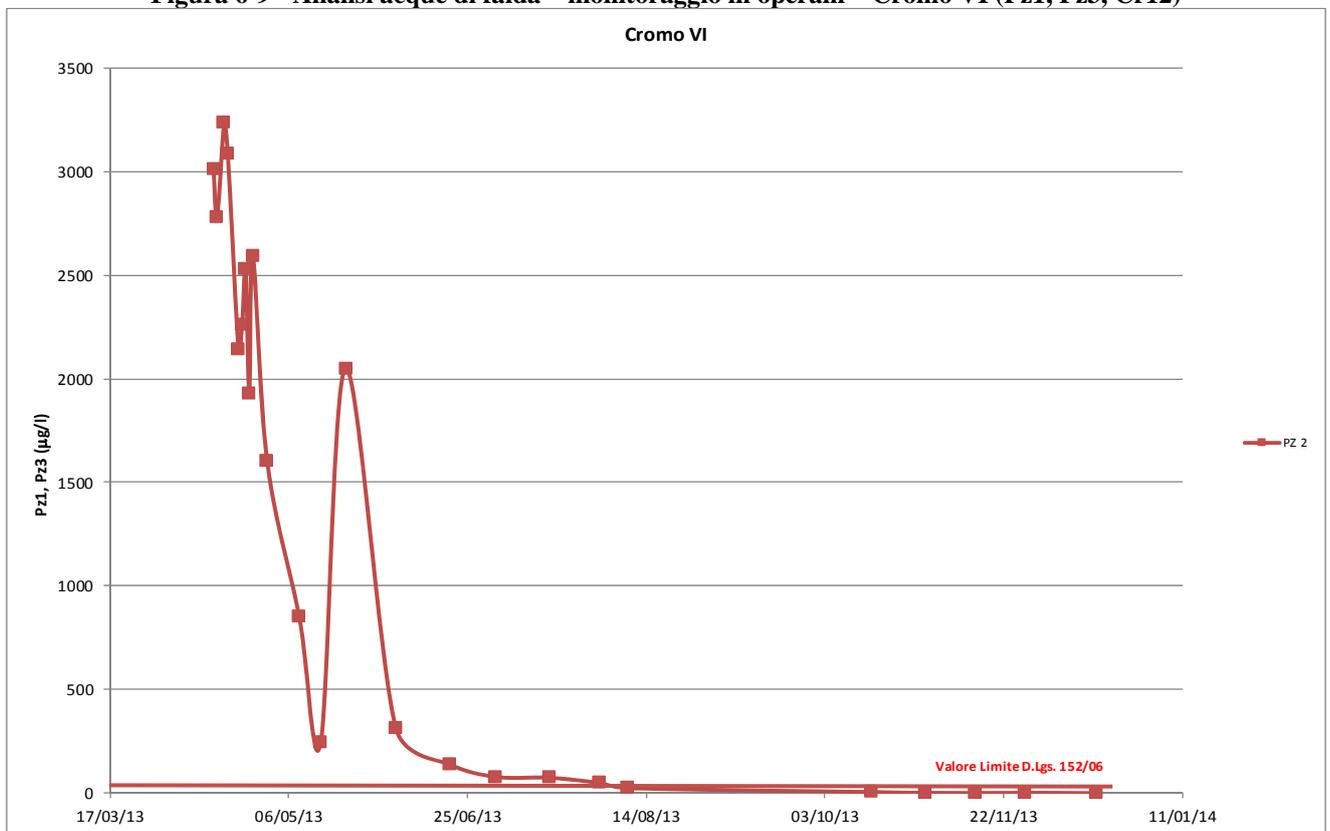


Figura 6-10 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Cromo VI (Pz2)

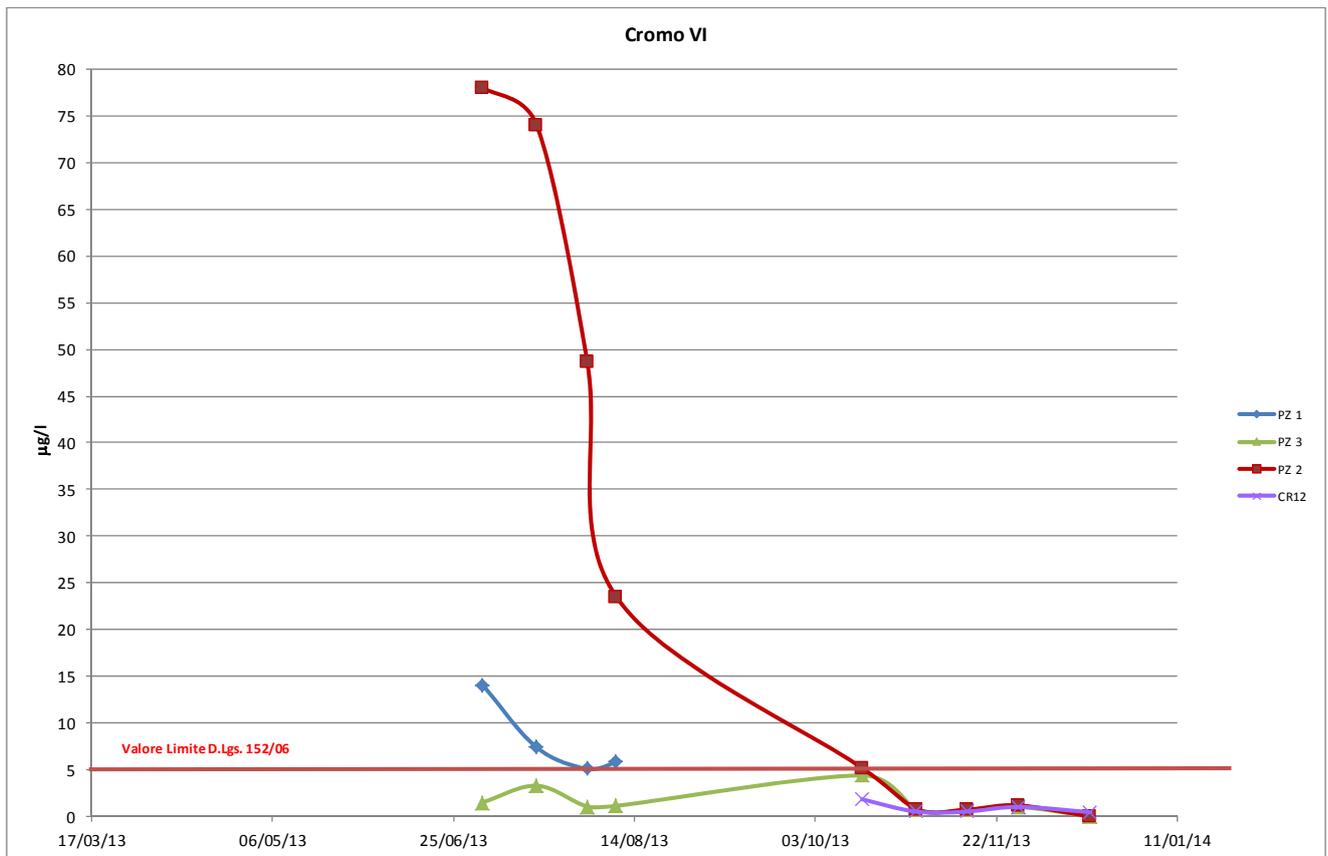


Figura 6-11 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Cromo VI (particolare)

Dall'osservazione dei grafici si evince quanto segue:

- **Pz1 (monte idrogeologico)**
 - ✓ nel periodo compreso tra l'attivazione dell'impianto avvenuto in data 15/04/2013 ed il 15/05/2013 si osserva l'oscillazione dei valori di concentrazione compresi tra 39,2 µg/l allo start-up e 77,4 µg/l il 09/05/13;
 - ✓ In data 22/05/2013 si osserva un repentino ed isolato aumento del valore di concentrazione, pari a 200 µg/l;
 - ✓ nel periodo compreso tra il 05/06/2013 ed il 09/08/2013 si osserva la progressiva diminuzione dei valori di concentrazione sino a 5,9 µg/l in data 09/08/2013 (sospensione del campionamento);
 - ✓ i valori rilevati sono sempre superiori al limite di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 5,0 µg/l;
- **CR12 (monte idrogeologico)**
 - ✓ nel periodo compreso tra il 16/10/2013 (ripresa del monitoraggio) ed il 18/12/2013 (termine del monitoraggio) si osservano valori di concentrazione stabili compresi tra 1,85 e 0,47 µg/l;
 - ✓ i valori di concentrazione rientrano sempre nei limiti di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 5,0 µg/l;
 - ✓ i valori di concentrazione rilevati nel punto di monitoraggio CR12 sono confrontabili e conformi al trend evolutivo rilevato in corrispondenza del punto Pz1;
- **Pz2 (valle idrogeologico)**
 - ✓ nel periodo compreso tra l'attivazione dell'impianto avvenuto in data 15/04/2013 ed il 15/05/2013 si osserva una sostanziale diminuzione dei valori di concentrazione compresi tra un massimo di 3.235 µg/l il 18/04/2013 e un minimo di 245 µg/l il 15/05/2013;
 - ✓ in data 22/05/2013 si osserva un repentino e isolato aumento del valore di concentrazione pari a 2.050 µg/l, riscontrabile anche in corrispondenza del piezometro di monte Pz1;
 - ✓ nel periodo compreso tra il 05/06/2013 ed il 18/12/2013 si osserva la ripresa del trend evolutivo in costante diminuzione da valori di concentrazione da 313 a <0,33 µg/l;

- ✓ in tale scenario, il valore rilevato in data 22/05/2013 appare come anomalo rispetto al trend evolutivo prevalente;
- ✓ a partire dal campionamento effettuato in data 31/10/2013 i valori di concentrazione rientrano nei limiti di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 5,0 µg/l;
- **Pz3 (valle idrogeologico)**
 - ✓ nel periodo compreso tra l'attivazione dell'impianto avvenuto in data 15/04/2013 ed il 18/12/2013 si osserva un trend evolutivo dei valori di concentrazione in sostanziale diminuzione, con massimo pari a 40,3 µg/l in data 17/04/2013 e minimo pari a <0,33 µg/l alla data dell'ultimo campionamento;
 - ✓ in data 22/05/2013 si osserva un momentaneo e lieve aumento del valore di concentrazione pari a 11,6 µg/l, in conformità, anche se con minore incidenza, a quanto rilevato negli altri piezometri;
 - ✓ a partire dal campionamento effettuato in data 05/06/2013 i valori di concentrazione rientrano nei limiti di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 5,0 µg/l;

Dal confronto dei grafici di Figura 6-9, Figura 6-10, Figura 6-11 della concentrazione di Cromo VI con il grafico di Figura 6-8 della soggiacenza, si osserva quanto segue:

- nel periodo compreso tra il 15/04/2013 ed il 05/06/2013, caratterizzato dal progressivo innalzamento della falda, si osserva l'oscillazione in un range stazionario della concentrazione di cromo VI in corrispondenza del Pz1 di monte idrogeologico a fronte della diminuzione in corrispondenza dei piezometri Pz2 e Pz3 di valle;
- a seguito del minimo di soggiacenza rilevato in data 05/06/2013 si è verificato un repentino ed isolato innalzamento dei valori di concentrazione del cromo VI in corrispondenza di tutti i piezometri;
- nel periodo compreso tra il 09/08/2013 ed il 18/12/2013, in corrispondenza dell'abbassamento progressivo della falda, si osserva la diminuzione della concentrazione di cromo VI in corrispondenza di tutti i piezometri monitorati;

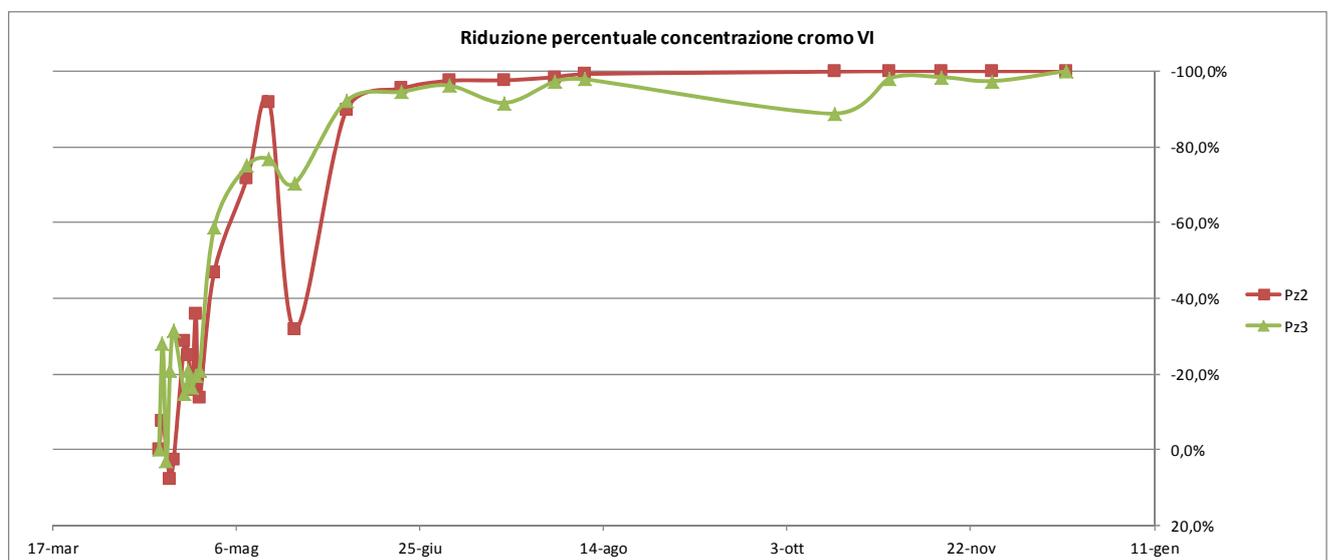


Figura 6-12 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Riduzione percentuale Cromo VI

In Figura 6-12 si riporta l'andamento della riduzione in percentuale della concentrazione di cromo VI rispetto ai valori rilevati allo start-up.

Dall'osservazione del grafico si evince che, con la sola eccezione determinata dal picco anomalo rilevato in data 22/05/2013 e della naturale oscillazione determinata dai campionamenti giornalieri nelle prime due settimane, la riduzione della concentrazione è stata progressiva e costante durante tutto il periodo di conduzione del test.

In particolare, si osservano le seguenti percentuali di riduzione:

Punto di controllo	Concentrazione di Cr VI allo start-up (15/04/2013)	Riduzione percentuale dopo 30 giorni (15/05/2013)	Riduzione percentuale dopo 116 giorni (09/08/2013) Interruzione del test	Riduzione percentuale dopo 180 giorni* (18/12/2013) Termine del test
Pz2	3.008 µg/l	91,9%	99,2%	100,0%
Pz3	39,2 µg/l	76,8%	97,8%	100,0%

* al netto dell'interruzione del test nel periodo 16/08/2013-16/10/2013 (interruzione dell'insufflaggio)

Dall'osservazione della tabella precedente si evidenzia la riduzione sostanziale della concentrazione di Cr VI in falda già dopo 30 giorni dall'inizio del test (76,8%-91,9%), mentre all'interruzione del test disposta da ETRA nell'Agosto 2013 si evidenzia la riduzione pressoché totale della concentrazione.

Al termine del Test, la riduzione percentuale è pari al 100%.

6.3.2.3 Cromo Totale

Il limite normativo di cui al D.Lgs. 152/06 – Titolo V – Parte Quarta, All. 5, Tab. 2 per il parametro **Cromo totale** nelle acque di falda è pari a **50 µg/l**.

Nelle seguenti figure si riporta l'andamento del parametro Cromo totale nel periodo di osservazione.

Per facilitare la lettura dei grafici in presenza di valori di concentrazione che nel primo periodo di test differivano di due ordini di grandezza, i valori relativi al Pz2 sono stati graficizzati separatamente (Figura 6-14).

In Figura 6-15 si riporta nel medesimo grafico il complesso dei dati allorché, dopo il campionamento effettuato in data 20/06, i valori vengono ricompresi nello stesso ordine di grandezza.

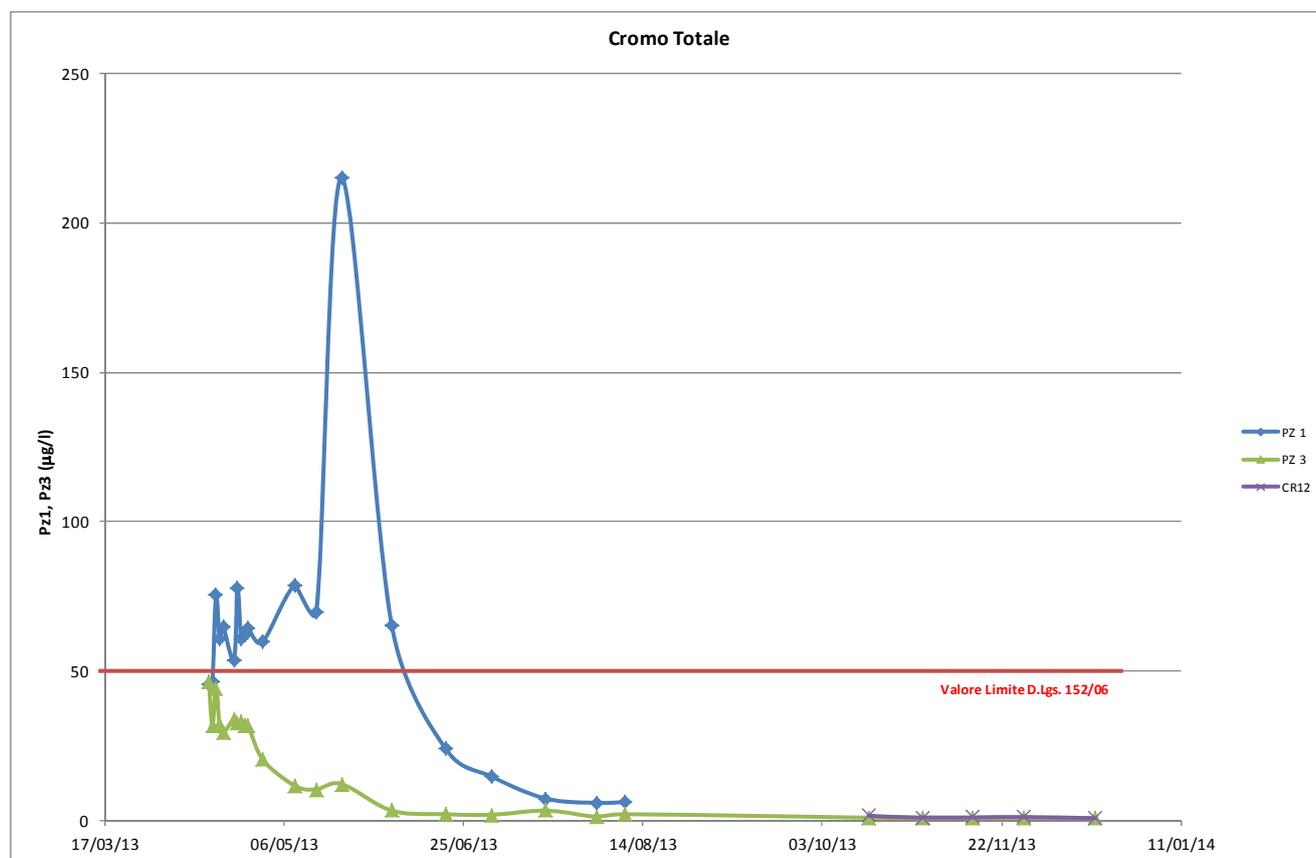


Figura 6-13 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Cromo totale (Pz1, Pz3, Cr12)

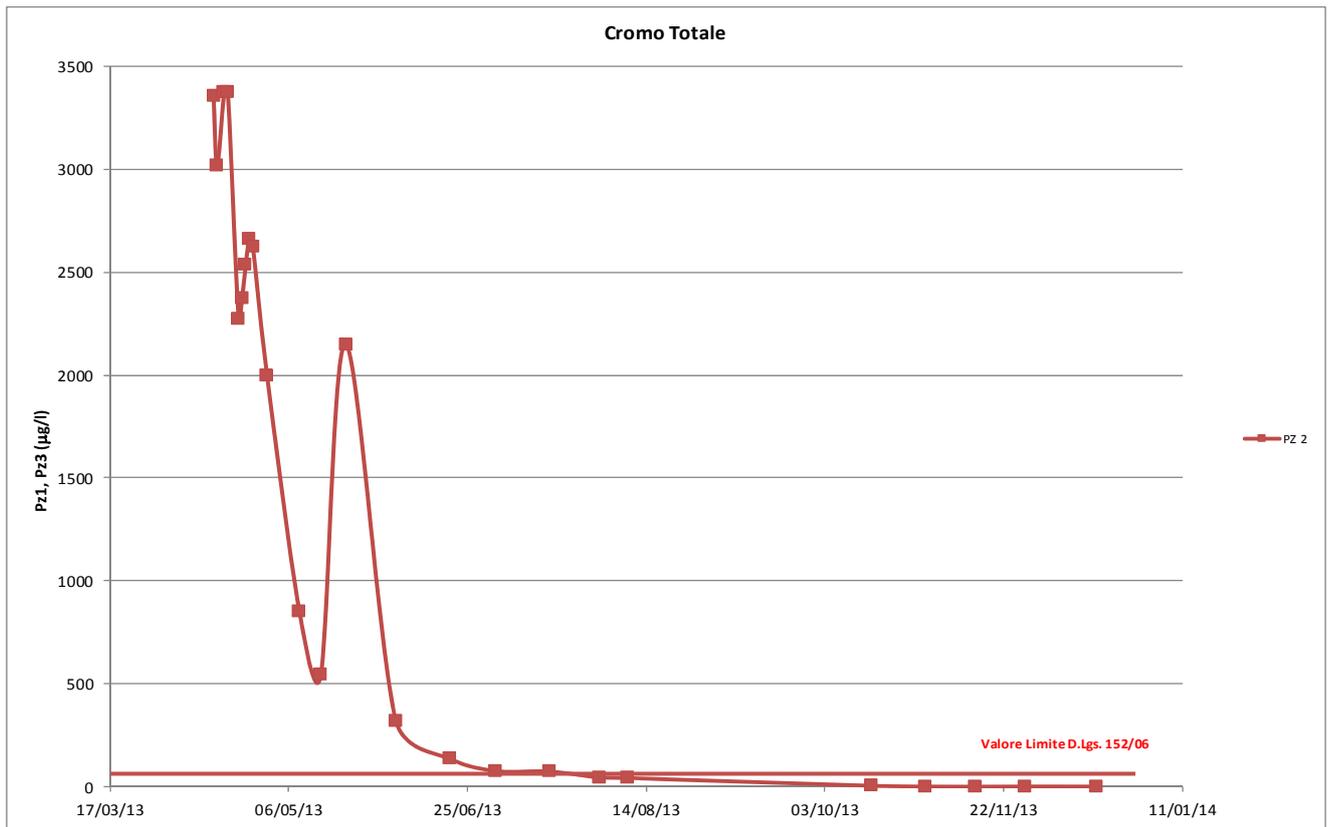


Figura 6-14 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Cromo tot (Pz2)

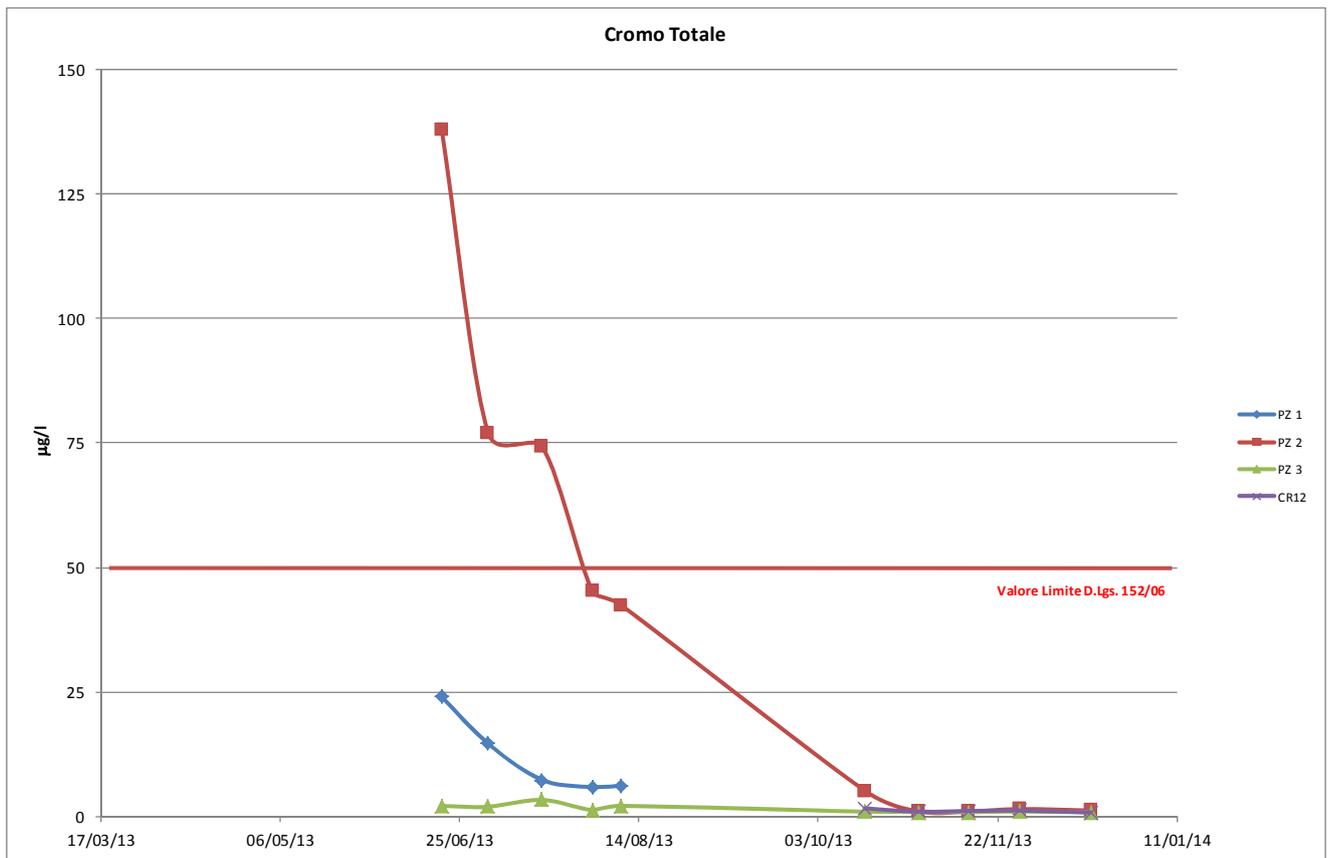


Figura 6-15 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Cromo tot (particolare)

Dall'osservazione dei grafici si evince quanto segue:

- **Pz1 (monte idrogeologico)**
 - ✓ nel periodo compreso tra l'attivazione dell'impianto avvenuto in data 15/04/2013 ed il 15/05/2013 si osserva un graduale aumento dei valori di concentrazione compresi tra 48,5 µg/l allo start-up e 78,7 µg/l il 09/05/13;
 - ✓ In data 22/05/2013 si osserva un repentino ed isolato aumento del valore di concentrazione, pari a 215 µg/l;
 - ✓ nel periodo compreso tra il 05/06/2013 ed il 09/08/2013 si osserva la progressiva diminuzione dei valori di concentrazione sino al minimo pari a 6,3 µg/l in data 09/08/2013 (sospensione del campionamento);
 - ✓ a partire dal campionamento effettuato in data 20/06/2013 i valori di concentrazione rientrano nei limiti di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 50 µg/l;
- **CR12 (monte idrogeologico)**
 - ✓ nel periodo compreso tra il 16/10/2013 (ripresa del monitoraggio) ed il 18/12/2013 si osservano valori di concentrazione stabili compresi tra 1,7 e 0,87 µg/l;
 - ✓ i valori di concentrazione rientrano sempre nei limiti di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 50 µg/l;
 - ✓ i valori di concentrazione rilevati nel punto di monitoraggio CR12 sono confrontabili e conformi al trend evolutivo rilevato in corrispondenza del punto Pz1;
- **Pz2 (valle idrogeologico)**
 - ✓ nel periodo compreso tra l'attivazione dell'impianto avvenuto in data 15/04/2013 ed il 15/05/2013 si osserva una sostanziale diminuzione dei valori di concentrazione compresi tra 3.352 µg/l allo start-up e 542 µg/l;
 - ✓ in data 22/05/2013 si osserva un repentino e isolato aumento del valore di concentrazione pari a 2.150 µg/l, riscontrabile anche in corrispondenza del piezometro di monte Pz1;
 - ✓ nel periodo compreso tra il 05/06/2013 ed il 18/12/2013 si osserva la ripresa del trend evolutivo in costante diminuzione da valori di concentrazione di 321 a 1,05 µg/l;
 - ✓ in tale scenario, il valore rilevato in data 22/05/2013 appare come anomalo rispetto al trend evolutivo prevalente;
 - ✓ a partire dal campionamento effettuato in data 01/08/2013 i valori di concentrazione rientrano nei limiti di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 50 µg/l;
- **Pz3 (valle idrogeologico)**
 - ✓ nel periodo compreso tra l'attivazione dell'impianto avvenuto in data 15/04/2013 ed il 18/12/2013 si osserva un trend evolutivo dei valori di concentrazione in sostanziale diminuzione, con massimo pari a 47,5 µg/l allo start-up e minimo pari a 0,91 µg/l alla data dell'ultimo campionamento;
 - ✓ in data 22/05/2013 si osserva un momentaneo e lieve aumento del valore di concentrazione pari a 12,3 µg/l, in conformità, anche se con minore incidenza, a quanto rilevato negli altri piezometri;
 - ✓ i valori di concentrazione rientrano sempre nei limiti di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 50 µg/l;

Dal confronto dei grafici di Figura 6-13, Figura 6-14 e Figura 6-15 della concentrazione di Cromo totale con il grafico di Figura 6-8 della soggiacenza, si osserva quanto segue:

- nel periodo compreso tra il 15/04/2013 ed il 05/06/2013, caratterizzato dal progressivo innalzamento della falda, si osserva l'aumento della concentrazione di cromo totale in corrispondenza del Pz1 di monte idrogeologico a fronte della diminuzione in corrispondenza dei piezometri Pz2 e Pz3 di valle;
- successivamente al minimo di soggiacenza rilevato in data 05/06/2013 si è verificato un repentino ed isolato innalzamento dei valori di concentrazione del cromo totale in corrispondenza di tutti i piezometri;
- nel periodo compreso tra il 09/08/2013 ed il 18/12/2013, in corrispondenza dell'abbassamento progressivo della falda, si osserva la diminuzione della concentrazione di cromo totale in corrispondenza di tutti i piezometri monitorati;
- l'andamento della concentrazione di cromo totale appare congruo con il trend di variazione della concentrazione di cromo VI.

6.3.2.4 Nichel

Il limite normativo di cui al D.Lgs. 152/06 – Titolo V – Parte Quarta, All. 5, Tab. 2 per il parametro **Nichel** nelle acque di falda è pari a **20 µg/l**.

In Figura 6-16 si riporta l'andamento del parametro Nichel nel periodo di osservazione.

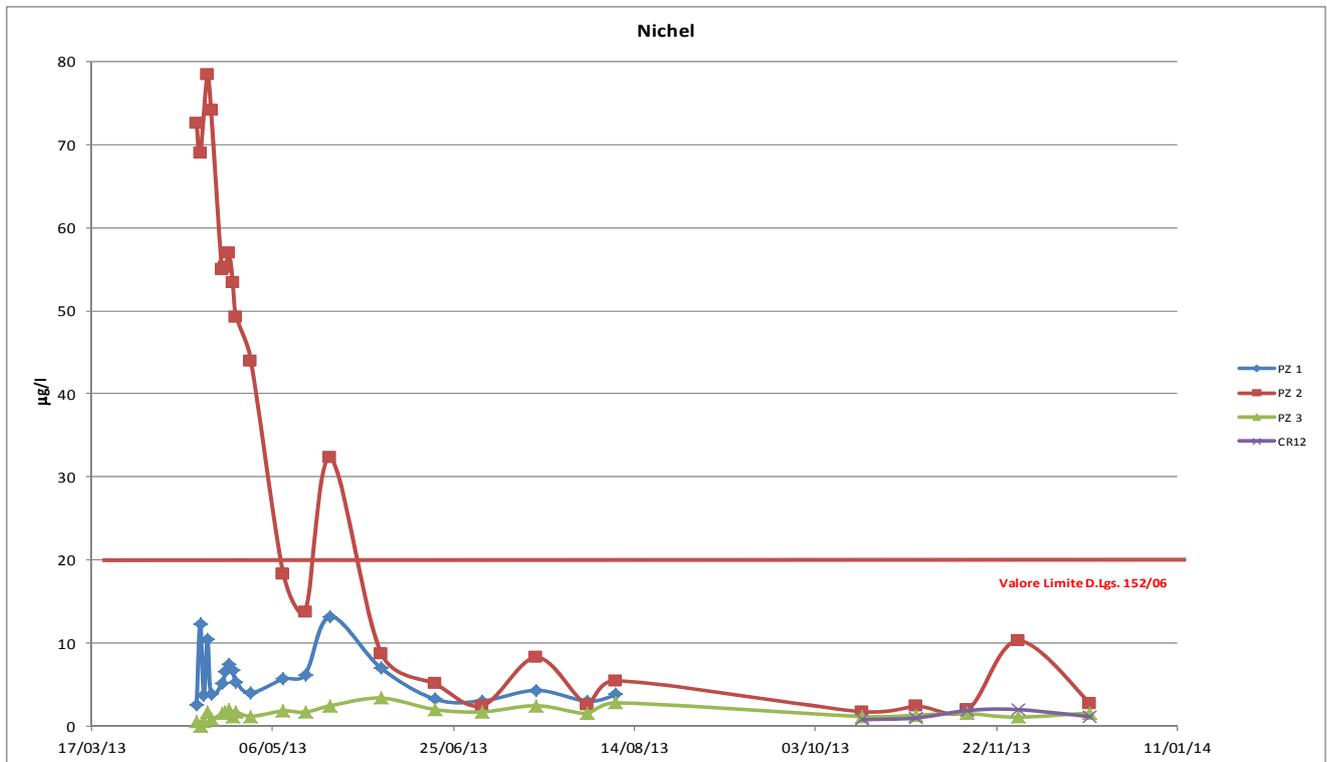


Figura 6-16 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Nichel

Dall'osservazione del grafico si evince quanto segue:

- **Pz1 (monte idrogeologico)**
 - ✓ I valori di concentrazione rimangono sostanzialmente stabili nel tempo con un range variabile tra 1,76 e 12,3 µg/l
 - ✓ i valori rilevati sono sempre inferiori al limite di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 20 µg/l;
- **CR12 (monte idrogeologico)**
 - ✓ nel periodo compreso tra il 16/10/2013 (ripresa del monitoraggio) ed il 18/12/2013 si osservano valori di concentrazione stabili compresi tra 0,81 e 2,2 µg/l;
 - ✓ i valori di concentrazione rientrano sempre nei limiti di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 20,0 µg/l;
 - ✓ i valori di concentrazione rilevati nel punto di monitoraggio CR12 sono confrontabili e conformi al trend evolutivo rilevato in corrispondenza del punto Pz1;
- **Pz2 (valle idrogeologico)**
 - ✓ nel periodo compreso tra l'attivazione dell'impianto avvenuto in data 15/04/2013 ed il 18/12/2013 si osserva un trend evolutivo dei valori di concentrazione in diminuzione; il decremento dei valori è compreso tra il massimo di 78,4 µg/l in data 18/04/2013 e il minimo di 1,56 µg/l il 01/08/13;
 - ✓ in data 22/05/2013 si osserva un repentino e isolato aumento del valore di concentrazione pari a 32,3 µg/l; altre oscillazioni di entità contenuta (<10µg/l) si osservano sporadicamente nel periodo compreso tra Giugno – Dicembre;
 - ✓ in tale scenario, il valore rilevato in data 22/05/2013 appare come anomalo rispetto al trend evolutivo prevalente;
 - ✓ ad eccezione del campionamento effettuato in data 22/05/2013, a partire dal 09/05/2013 i valori di concentrazione rientrano nei limiti di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 20 µg/l;

- **Pz3 (valle idrogeologico)**
 - ✓ I valori di concentrazione rimangono sostanzialmente stabili nel tempo con un range variabile tra 0,52 e 2,83 $\mu\text{g/l}$
 - ✓ i valori rilevati sono sempre inferiori al limite di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 20 $\mu\text{g/l}$;

Si ritiene che la diminuzione di concentrazione riscontrata in Pz2, in assenza di specifiche indicazioni circa lo stato di ossidazione (+2 o metallico) che si otterrebbero solo con la speciazione, consegua alla progressiva diminuita disponibilità di Nichel nelle immediate vicinanze del piezometro a seguito dell'azione dinamica del pompaggio.

6.3.2.5 Arsenico

Il limite normativo di cui al *D.Lgs. 152/06 – Titolo V – Parte Quarta, All. 5, Tab. 2* per il parametro **Arsenico** nelle acque di falda è pari a **10 $\mu\text{g/l}$** .

In Figura 6-17 si riporta l'andamento del parametro Arsenico nel periodo di osservazione.

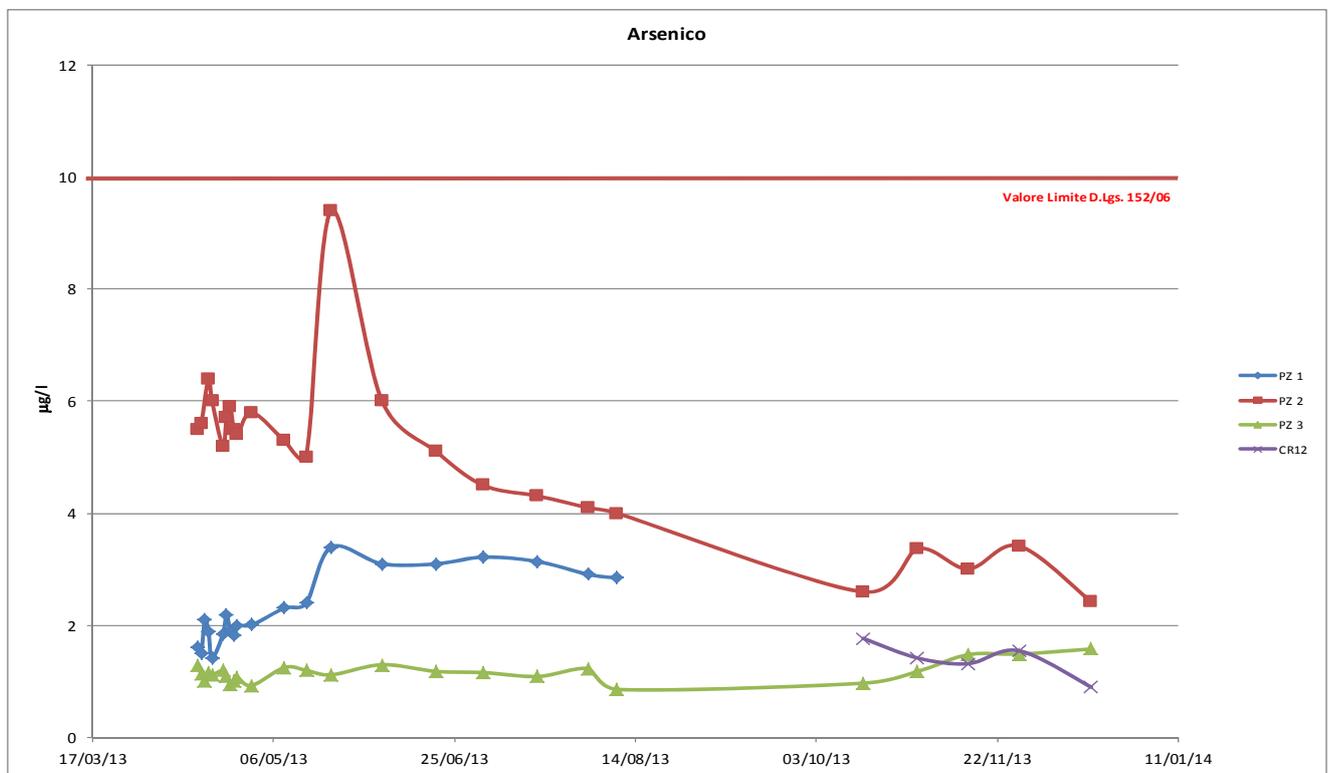


Figura 6-17 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Arsenico

Dall'osservazione del grafico si evince quanto segue:

- **Pz1 (monte idrogeologico)**
 - ✓ I valori di concentrazione mostrano un iniziale aumento nel periodo dal 15/04/2013 (1,62 $\mu\text{g/l}$) al 22/05/2013 (3,4 $\mu\text{g/l}$), per poi rimanere sostanzialmente stabili o in leggero decremento sino al 09/08/2013;
 - ✓ i valori rilevati sono sempre inferiori al limite di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 10 $\mu\text{g/l}$;
- **CR12 (monte idrogeologico)**
 - ✓ nel periodo compreso tra il 16/10/2013 (ripresa del monitoraggio) ed il 18/12/2013 si osservano valori di concentrazione in diminuzione da 1,77 e 0,90 $\mu\text{g/l}$;
 - ✓ i valori di concentrazione rientrano sempre nei limiti di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 10,0 $\mu\text{g/l}$;
 - ✓ i valori di concentrazione rilevati nel punto di monitoraggio CR12 sono confrontabili e conformi al trend evolutivo rilevato in corrispondenza del punto Pz1;
- **Pz2 (valle idrogeologico)**

- ✓ I valori di concentrazione sono sostanzialmente stabili nel periodo dal 15/04/2013 al 15/05/2013 (range compreso tra 5,0 e 6,4 µg/l);
- ✓ in data 22/05/2013 si osserva un repentino e isolato aumento del valore di concentrazione pari a 9,4 µg/l;
- ✓ si evidenzia un trend decrescente nel periodo dal 05/06/2013 al 18/12/2013 (da 6,0 e 2,42 µg/l);
- ✓ i valori rilevati sono sempre inferiori al limite di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 10 µg/l;
- **Pz3 (valle idrogeologico)**
 - ✓ I valori di concentrazione rimangono sostanzialmente stabili nel tempo con un range variabile tra 0,86 e 1,58 µg/l
 - ✓ i valori rilevati sono sempre inferiori al limite di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 20 µg/l;

Dall'osservazione del trend evolutivo della concentrazione di Arsenico in falda, si evidenzia la generale diminuzione dei valori nel periodo di monitoraggio, con l'eccezione del piezometro di valle Pz3 che evidenzia valori sostanzialmente stabili.

Dall'osservazione del grafico di Figura 6-17 non si evidenziano fenomeni di mobilitazione legati all'esecuzione del test.

6.3.2.6 Manganese

Il limite normativo di cui al *D.Lgs. 152/06 – Titolo V – Parte Quarta, All. 5, Tab. 2* per il parametro **Manganese** nelle acque di falda è pari a **50 µg/l**.

In Figura 6-18 si riporta l'andamento del parametro Manganese nel periodo di osservazione.

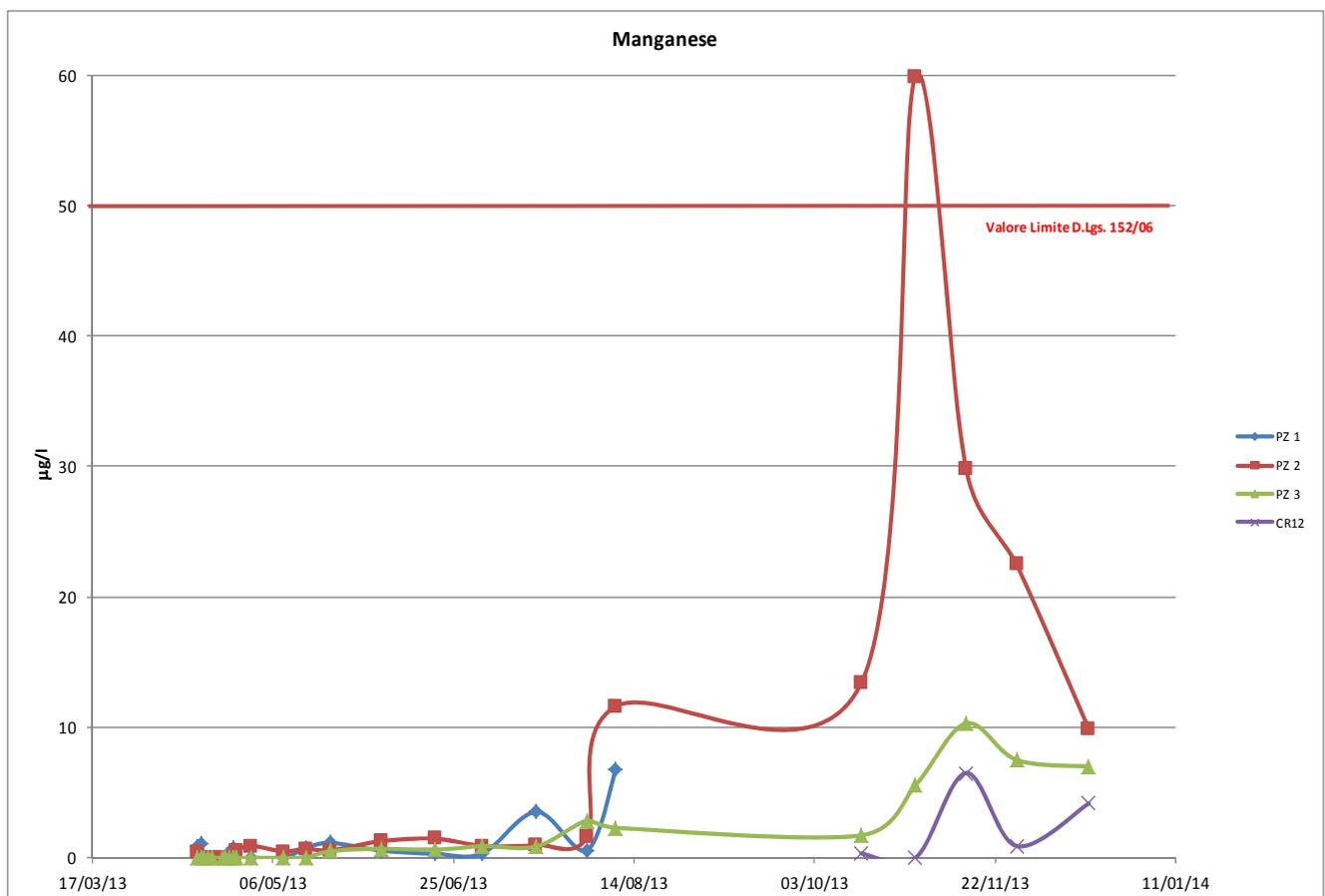


Figura 6-18 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Manganese

Dall'osservazione del grafico si evince quanto segue:

- **Pz1 (monte idrogeologico)**
 - ✓ I valori di concentrazione sono sostanzialmente stabili nel periodo dal 15/04/2013 al 01/08/2013 (range compreso tra 0,44 e 1,14 µg/l);
 - ✓ si rileva un massimo relativo in data 09/08/2013 (6,3 µg/l);
 - ✓ i valori rilevati sono sempre inferiori al limite di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 50 µg/l;
- **CR12 (monte idrogeologico)**
 - ✓ nel periodo compreso tra il 16/10/2013 (ripresa del monitoraggio) ed il 18/12/2013 si osservano valori di concentrazione in oscillazione in un range compreso tra 0,33 e 6,5 µg/l;
 - ✓ i valori di concentrazione rientrano sempre nei limiti di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 50,0 µg/l;
 - ✓ i valori di concentrazione rilevati nel punto di monitoraggio CR12 sono confrontabili e conformi al trend evolutivo rilevato in corrispondenza del punto Pz1;
- **Pz2 (valle idrogeologico)**
 - ✓ I valori di concentrazione sono sostanzialmente stabili nel periodo dal 15/04/2013 al 01/08/2013 (range compreso tra 0,33 e 1,61 µg/l);
 - ✓ nel periodo compreso tra il 09/08/2013 ed il 31/10/2013 si osserva un trend in aumento da 11,6 a 59,9 µg/l, seguito da una diminuzione progressiva sino a 9,9 µg/l alla data dell'ultimo campionamento;
 - ✓ si evidenzia il superamento isolato del limite di cui al D.Lgs. 152/06 in data 31/10/2013 (59,9 µg/l);
- **Pz3 (valle idrogeologico)**
 - ✓ I valori di concentrazione rimangono sostanzialmente stabili nel periodo dal 15/04/2013 al 18/07/2013 con un range variabile tra 0,33 e 0,89 µg/l;
 - ✓ nel periodo compreso tra il 01/08/2013 ed il 18/12/2013 si osserva un trend in aumento da 2,85 a 10,3 µg/l seguito da una diminuzione progressiva sino a 7,0 µg/l alla data dell'ultimo campionamento;
 - ✓ i valori rilevati sono sempre inferiori al limite di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 50 µg/l;

In via del tutto ipotetica, durante il trattamento con idrogeno si potrebbe verificare una parziale riduzione dalla forma Mn⁺⁴, Mn⁺³ a quella con grado di ossidazione Mn⁺², con successiva probabile ritrasformazione naturale per riossidazione quando il trattamento termina: tale ipotesi potrebbe trovare conferma con una mirata analisi di speciazione.

In ogni caso, il metallo permane sempre non pericoloso e, comunque, sempre poco solubile e mobile nelle due forme Mn⁺² e Mn⁺⁴.

Dall'osservazione del grafico di Figura 6-18 non si evidenziano fenomeni di mobilitazione legati all'esecuzione del test.

6.3.2.7 Ferro

Il limite normativo di cui al D.Lgs. 152/06 – Titolo V – Parte Quarta, All. 5, Tab. 2 per il parametro **Ferro** nelle acque di falda è pari a **200 µg/l**.

In Figura 6-19 si riporta l'andamento del parametro Ferro nel periodo di osservazione.

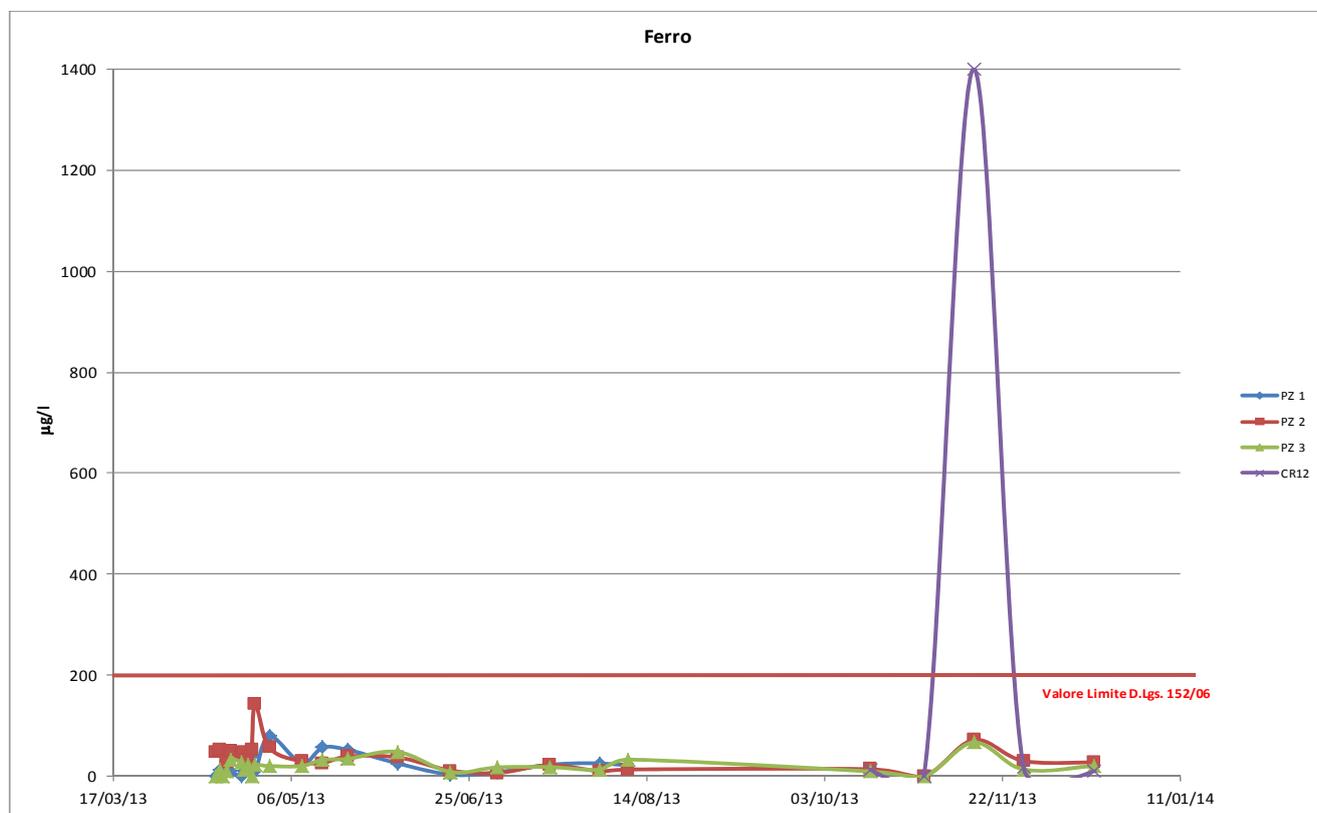


Figura 6-19 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Ferro

Dall'osservazione del grafico si evince quanto segue:

- **Pz1 (monte idrogeologico)**
 - ✓ I valori di concentrazione rimangono sostanzialmente stabili nel tempo con un range variabile tra 3,13 e 79,5 µg/l
 - ✓ i valori rilevati sono sempre inferiori al limite di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 400 µg/l;
- **CR12 (monte idrogeologico)**
 - ✓ le analisi del periodo compreso tra il 15/10/2013 (ripresa del monitoraggio) e il 18/12/2013 mostrano valori di concentrazione trascurabili ad eccezione dell'analisi relativa al campionamento del 14/11/2013 che evidenzia un valore di concentrazione pari a 1.400µg/l, ovvero, eccedente i limiti normativi di cui al D.Lgs. 152/06 (400 µg/l);
- **Pz2 (valle idrogeologico)**
 - ✓ I valori di concentrazione rimangono sostanzialmente stabili nel tempo con un range variabile tra 2,1 e 72,0 µg/l;
 - ✓ il massimo relativo si ha in data 14/11/2013;
 - ✓ i valori rilevati sono sempre inferiori al limite di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 400 µg/l;
- **Pz3 (valle idrogeologico)**
 - ✓ I valori di concentrazione rimangono sostanzialmente stabili nel tempo con un range variabile tra 2,1 e 67,0 µg/l;
 - ✓ il massimo relativo si ha in data 14/11/2013;
 - ✓ i valori rilevati sono sempre inferiori al limite di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 400 µg/l;

Il trend evolutivo della concentrazione di Ferro in falda si mantiene stabile per tutto il periodo di monitoraggio, con la sola eccezione del valore anomalo rilevato in corrispondenza del solo piezometro di monte CR12 in data 14/11/2013, che ha avuto scarso riscontro in corrispondenza dei piezometri di valle, confermando il carattere di "anomalia locale".

Dall'osservazione del grafico di Figura 6-19 si evidenzia un bilancio idrochimico monte-valle sostanzialmente in equilibrio in assenza di fenomeni di mobilizzazione legati all'esecuzione del test.

6.3.2.8 Piombo

Il limite normativo di cui al *D.Lgs. 152/06 – Titolo V – Parte Quarta, All. 5, Tab. 2* per il parametro **Piombo** nelle acque di falda è pari a **10 µg/l**.

In Figura 6-20 si riporta l'andamento del parametro Piombo nel periodo di osservazione.

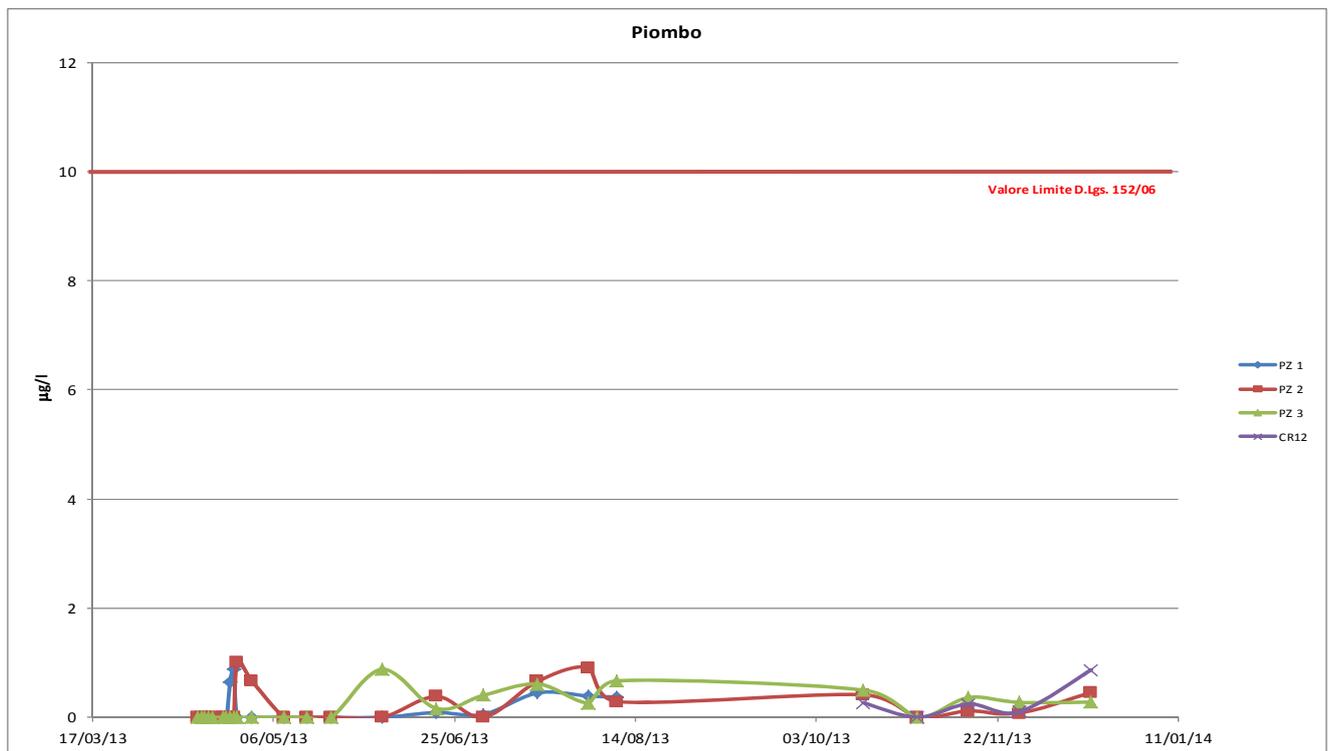


Figura 6-20 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Piombo

Dall'osservazione del grafico si evince quanto segue:

- **Pz1 (monte idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 0,05 e 0,88 µg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva;
- **CR12 (monte idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 0,05 e 0,87 µg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva;
- **Pz2 (valle idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 0,05 e 1,01 µg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva;
- **Pz3 (valle idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 0,05 e 0,88 µg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva;

Tutti i valori di concentrazione sono ampiamente inferiori ai limiti normativi di cui al D.Lgs. 152/06. Il trend evolutivo nel periodo di monitoraggio è sostanzialmente stabile.

Dall'osservazione del grafico di Figura 6-20 si evidenzia un bilancio idrochimico monte-valle sostanzialmente in equilibrio in assenza di fenomeni di mobilizzazione legati all'esecuzione del test.

6.3.2.9 mercurio

Il limite normativo di cui al *D.Lgs. 152/06 – Titolo V – Parte Quarta, All. 5, Tab. 2* per il parametro **Mercurio** nelle acque di falda è pari a **1,0 µg/l**.

In Figura 6-21 si riporta l'andamento del parametro Piombo nel periodo di osservazione.

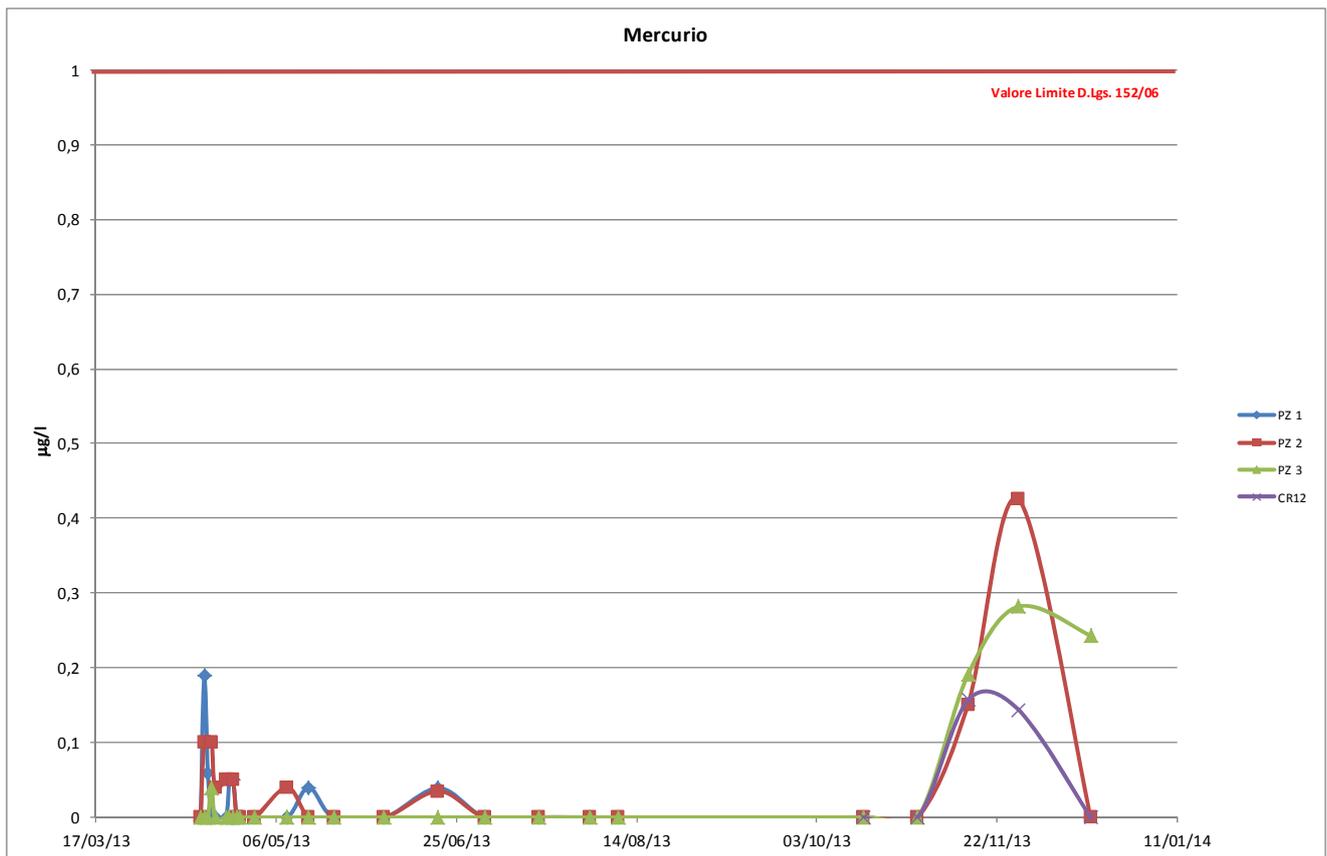


Figura 6-21 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Mercurio

Dall'osservazione del grafico si evince quanto segue:

- **Pz1 (monte idrogeologico)**
 - ✓ la rilevazione di valori superiori al limite si sensibilità analitica è solo occasionale; il valore massimo registrato è pari a 0,19 µg/l il 16/04/2013;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva;
- **CR12 (monte idrogeologico)**
 - ✓ la rilevazione di valori superiori al limite si sensibilità analitica è solo occasionale; il valore massimo registrato è pari a 0,157 µg/l il 14/11/2013;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva;
- **Pz2 (valle idrogeologico)**
 - ✓ la rilevazione di valori superiori al limite si sensibilità analitica è solo occasionale; il valore massimo registrato è pari a 0,425 µg/l il 14/11/2013;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva;
- **Pz3 (valle idrogeologico)**
 - ✓ la rilevazione di valori superiori al limite si sensibilità analitica è solo occasionale; il valore massimo registrato è pari a 0,282 µg/l il 14/11/2013;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva;

Il trend evolutivo nel periodo di monitoraggio è sostanzialmente stabile, con moderate e isolate oscillazioni; in particolare, si osserva in tutti i piezometri un picco di concentrazione in data 14/11/2013 che si configura come episodio isolato e di probabile origine remota.

I valori riscontrati sono molto bassi e probabilmente derivanti da fondo naturale ed incertezza analitica.

Dall'osservazione del grafico di Figura 6-21 si evidenzia un bilancio idrochimico monte-valle sostanzialmente in equilibrio in assenza di fenomeni di mobilizzazione legati all'esecuzione del test.

6.3.2.10 Bario

Il parametro **Bario** non è normato dal *D.Lgs. 152/06 – Titolo V – Parte Quarta, All. 5, Tab. 2*.

In Figura 6-22 si riporta l'andamento del parametro Bario nel periodo di osservazione.

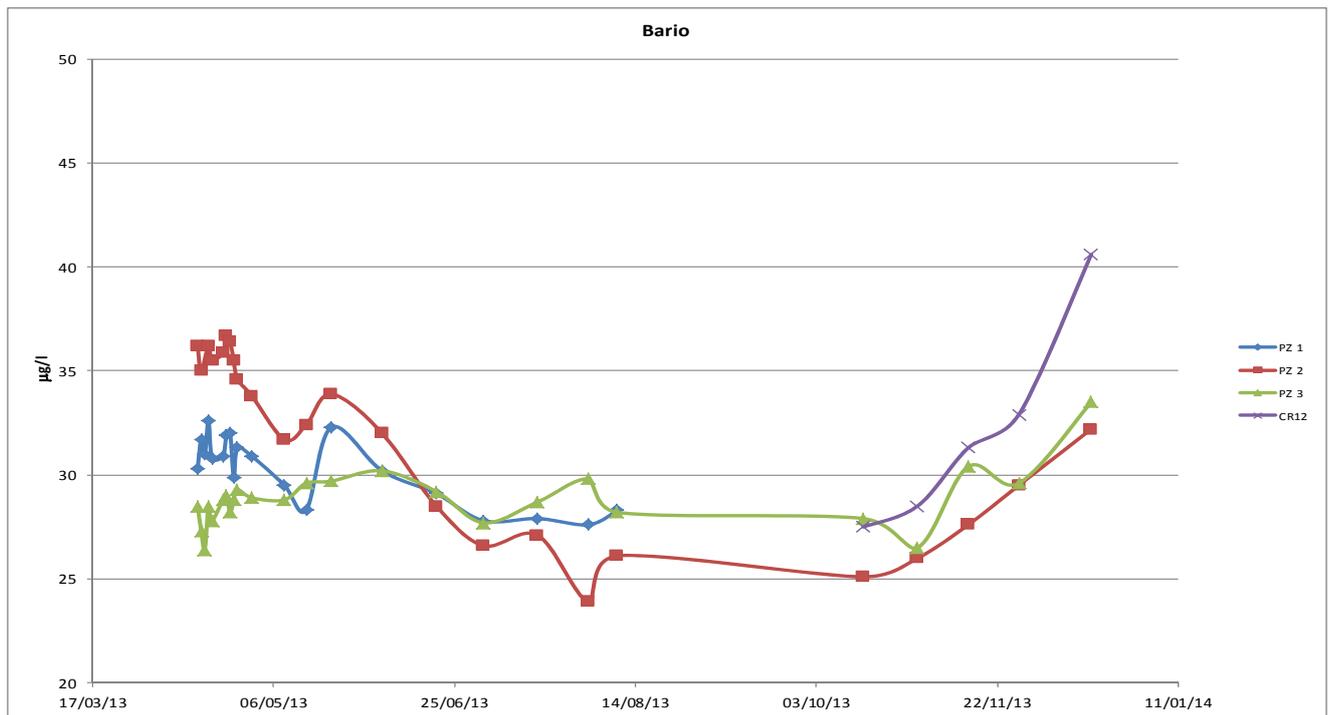


Figura 6-22 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Bario

Dall'osservazione del grafico si evince quanto segue:

- **Pz1 (monte idrogeologico)**
 - ✓ dal 14/04/2013 al 09/08/2013 i valori di concentrazione tendono a decrescere nel tempo con un range variabile tra 32,6 e 27,6 µg/l;
- **CR12 (monte idrogeologico)**
 - ✓ dal 15/10/2013 (ripresa del monitoraggio) si evidenzia un trend crescente con valori da 27,5 a 40,6 µg/l;
- **Pz2 (valle idrogeologico)**
 - ✓ dal 14/04/2013 al 09/08/2013 i valori di concentrazione tendono a decrescere nel tempo con un range variabile tra 36,7 e 23,9 µg/l;
 - ✓ dal 15/10/2013 (ripresa del monitoraggio) al 18/12/2013 si evidenzia un trend crescente con valori da 25,1 a 32,2 µg/l;
- **Pz3 (valle idrogeologico)**
 - ✓ nel periodo di monitoraggio i valori di concentrazione si mantengono sostanzialmente stabili in un range variabile tra 26,4 e 33,5 µg/l;

Il trend evolutivo nel periodo di monitoraggio è sostanzialmente stabile e compreso in un range di valori (circa 25÷40 µg/l) caratterizzato da una fase di trend in decrescita nel periodo Aprile-Agosto seguito da una crescita nel periodo da Ottobre a Dicembre.

Si evidenzia un bilancio idrochimico monte-valle sostanzialmente in equilibrio.

Dall'osservazione del grafico di Figura 6-22 si evidenzia un bilancio idrochimico monte-valle sostanzialmente in equilibrio in assenza di fenomeni di mobilizzazione legati all'esecuzione del test.

6.3.2.11 Molibdeno

Il parametro **Molibdeno** non è normato dal *D.Lgs. 152/06 – Titolo V – Parte Quarta, All. 5, Tab. 2.*

In Figura 6-23 si riporta l'andamento del parametro Molibdeno nel periodo di osservazione.

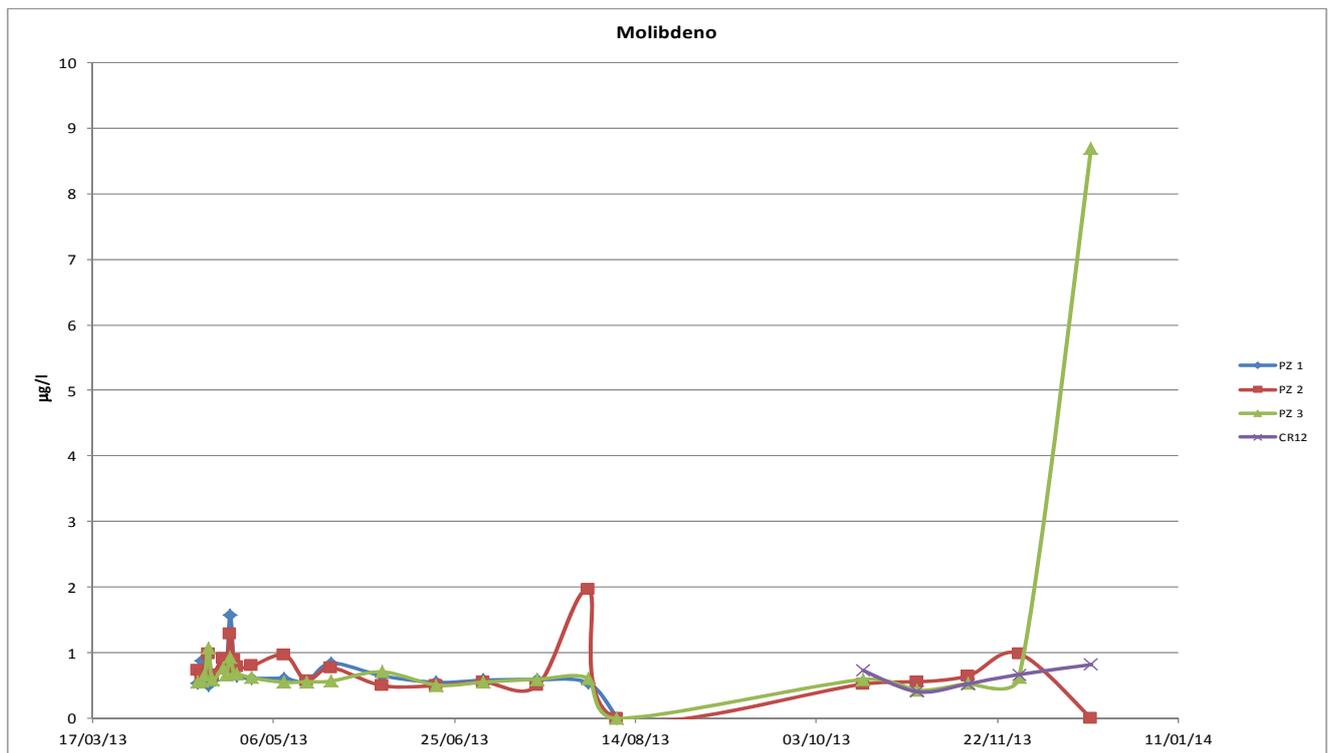


Figura 6-23 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Molibdeno

Dall'osservazione del grafico si evince quanto segue:

- **Pz1 (monte idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 0,17 e 1,57 µg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva
- **CR12 (monte idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 0,41 e 0,82 µg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva
- **Pz2 (valle idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra <0,17 e 1,96 µg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva
- **Pz3 (valle idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra <0,17 e 1,08 µg/l con un picco isolato di 8,7 µg/l in data 18/12/2013;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva

Il trend evolutivo nel periodo di monitoraggio è sostanzialmente stabile e compreso in un range di valori compreso tra circa 0,2÷2 µg/l) ad eccezione del valore pari a 8,7 µg/l in data 18/12/2013 che si configura come anomalia temporalmente e localmente isolata.

Dall'osservazione del grafico di Figura 6-23 si evidenzia un bilancio idrochimico monte-valle sostanzialmente in equilibrio in assenza di fenomeni di mobilizzazione legati all'esecuzione del test.

6.3.2.12 Altri metalli

Il protocollo di analisi ha previsto la ricerca di altri metalli pesanti quali Argento, Cadmio, Cobalto, Rame, Stagno, Selenio e Zinco che possono essere mobilitati nel corso del trattamento.

Tranne isolate eccezioni a carattere di anomalia locale e temporanea di seguito specificate, il complesso delle analisi di laboratorio non ha evidenziato valori di concentrazione apprezzabili nel corso del monitoraggio.

In particolare, si considera quanto segue:

- **Argento** – Tale parametro risulta rilevabile unicamente in data 16/10/2013, con concentrazione pari a 5,3 µg/l nel Pz2, 5,0 µg/l nel Pz3 e 4,9 µg/l nel CR12, a fronte di un limite normativo pari a 10 µg/l;
- **Cadmio** – Tale parametro non presenta nel corso del monitoraggio valori di concentrazione significativi;
- **Cobalto** – Tale parametro non presenta nel corso del monitoraggio valori di concentrazione significativi;
- **Rame** – Tale parametro non presenta nel corso del monitoraggio valori di concentrazione significativi;
- **Stagno** – Tale parametro non presenta nel corso del monitoraggio valori di concentrazione significativi;
- **Selenio** – Tale parametro non presenta nel corso del monitoraggio valori di concentrazione significativi; nel solo Pz2 si rilevano occasionalmente valori sensibili con massimo pari a 0,8 µg/l a fronte di un limite normativo pari a 10 µg/l;
- **Zinco** – Tale parametro non presenta nel corso del monitoraggio valori di concentrazione significativi;

Nel novero degli "altri metalli" sottoposti a monitoraggio, si individuano Rame, Stagno, Zinco e Cadmio quali metalli che potrebbero avere avuto un ruolo nel ciclo industriale, in quanto in passato avvenivano elettrodeposizioni utilizzando bagni contenenti questi metalli in forma di sali.

Sono tutti metalli in forma ionica, probabilmente di idrossidi poco solubili e mobili.

La loro potenziale reazione di riduzione li porterebbe a metallo zerovalente anche se molte reazioni hanno un $\Delta G > 0$ e quindi sono processi non spontanei.

Anche quei metalli che hanno potenziali di semireazione compatibili con una possibile riduzione hanno differenze in volt molto piccole: è quindi improbabile una loro trasformazione nella forma ridotta.

In ogni caso, la trasformazione dalla forma ionica a quella zerovalente porterebbe ad una condizione di maggiore ed ulteriore inattività, immobilità e tossicità rispetto alla forma ionica.

Relativamente a tutti i parametri, il complesso delle analisi evidenzia il sostanziale bilancio idrochimico monte-valle e non evidenzia fenomeni di mobilizzazione legati all'esecuzione del test.

6.3.2.13 pH

Il parametro **pH** non è normato dal *D.Lgs. 152/06 – Titolo V – Parte Quarta, All. 5, Tab. 2*.
In Figura 6-24 si riporta l'andamento del parametro pH nel periodo di osservazione.

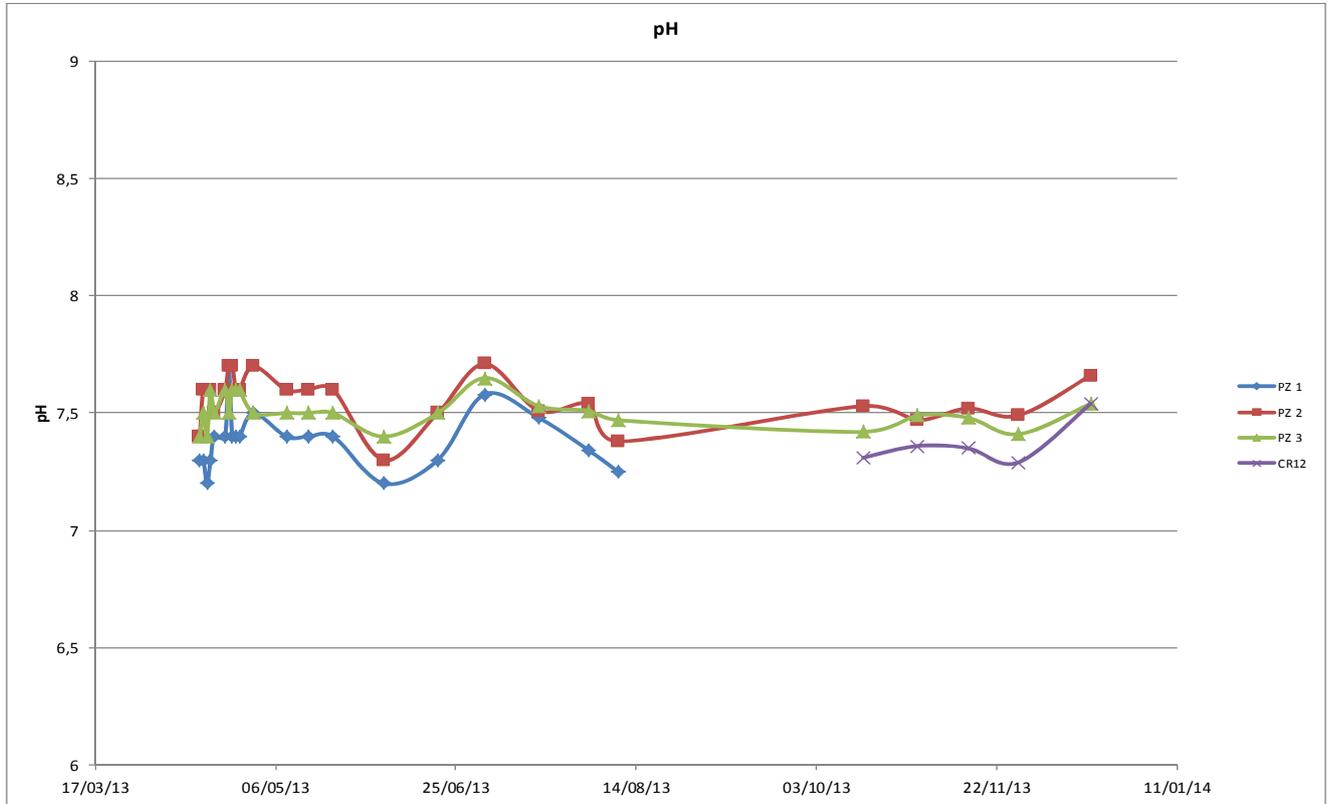


Figura 6-24 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – pH

Dall'osservazione del grafico si evince quanto segue:

- **Pz1 (monte idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 7,2 e 7,58 µg/l, con media pari a 7,38;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva
- **CR12 (monte idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 7,29 e 7,54 µg/l, con media pari a 7,37;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva
- **Pz2 (valle idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 7,3 e 7,7 µg/l, con media pari a 7,59;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva
- **Pz3 (valle idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 7,4 e 7,65, con media pari a 7,51;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva

Il trend evolutivo nel periodo di monitoraggio è sostanzialmente stabile con limitati scostamenti dalla media; i piezometri di valle mostrano un valore medio superiore di 0,2 unità di pH.

Il bilancio idrochimico monte-valle è sostanzialmente stabile nel tempo.

Relativamente ad eventuali variazioni di pH nel corso del test, si evidenzia che le concentrazioni rilevate di Cromo esavalente, acido, non sono sufficienti per spostare il valore di pH, in quanto trattasi di misura logaritmica.

6.3.2.14 Conducibilità elettrica

Il parametro **Conducibilità elettrica a 25°** non è normato dal *D.Lgs. 152/06 – Titolo V – Parte Quarta, All. 5, Tab. 2*. In Figura 6-25 si riporta l'andamento del parametro nel periodo di osservazione.

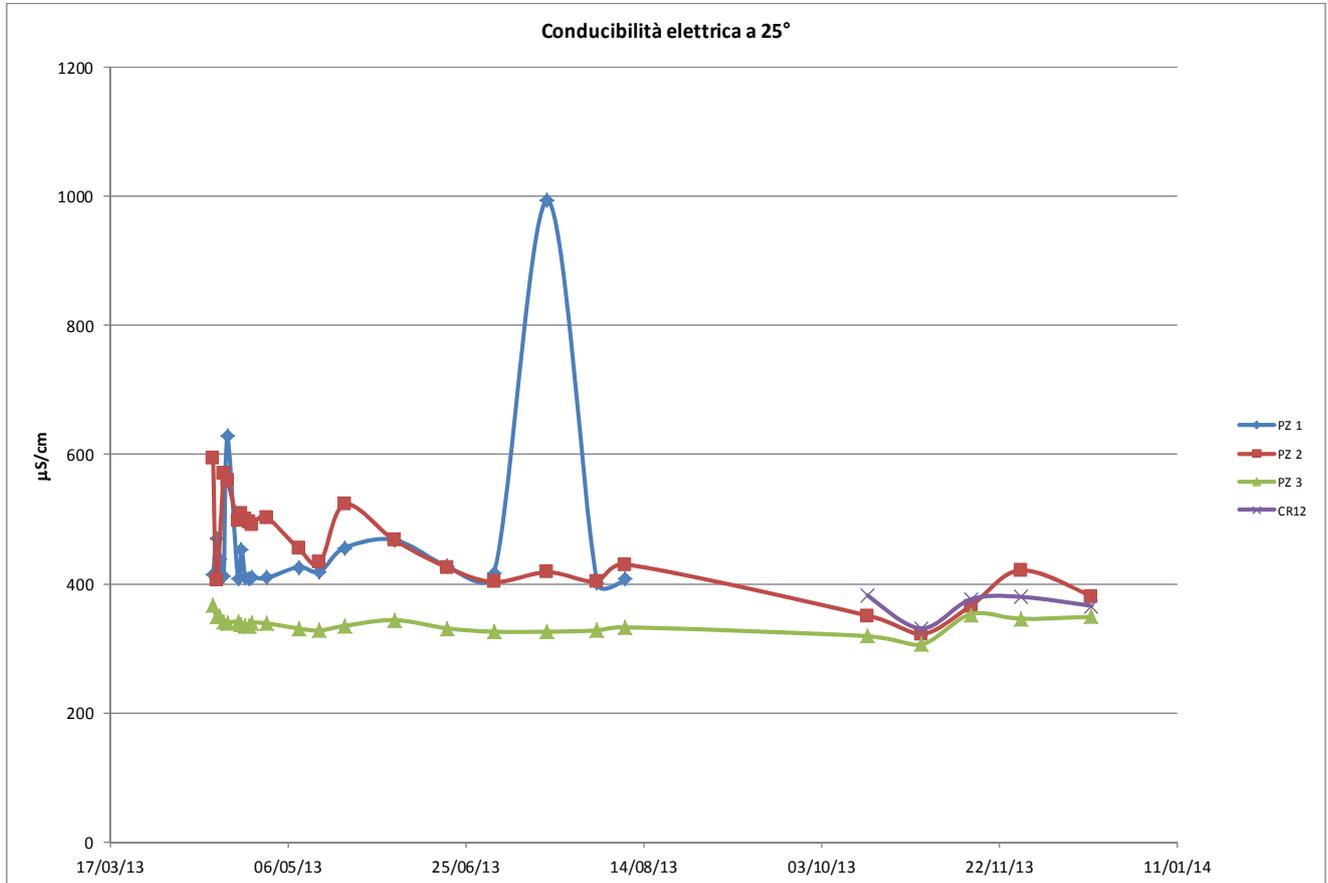


Figura 6-25 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Conducibilità elettrica

Dall'osservazione del grafico si evince quanto segue:

- **Pz1 (monte idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 401 e 628 $\mu\text{S/cm}$, con un picco anomalo pari a 993 $\mu\text{S/cm}$ in data 18/07/2013; la media è pari a 435 $\mu\text{S/cm}$;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva
- **CR12 (monte idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 331 e 382 $\mu\text{S/cm}$, con media pari a 367 $\mu\text{S/cm}$;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva
- **Pz2 (valle idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 322 e 594 $\mu\text{S/cm}$, con media pari a 455 $\mu\text{S/cm}$;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva
- **Pz3 (valle idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 306 e 367 $\mu\text{S/cm}$, con media pari a 337 $\mu\text{S/cm}$;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva

Il trend evolutivo nel periodo di monitoraggio è sostanzialmente stabile con limitati scostamenti dalla media, ad eccezione del valore pari a 993 $\mu\text{S/cm}$ rilevato in data 18/07/2013 in corrispondenza del Pz1;

Il Pz2 mostra il valore medio più alto, confrontabile con quanto rilevato nel piezometro Pz1.

Il Pz3 mostra il valore medio più basso, confrontabile con quanto rilevato nel piezometro CR12.

Il bilancio idrochimico monte-valle è sostanzialmente stabile nel tempo.

Dall'osservazione del grafico si evidenzia che, dopo una iniziale condizione di leggera anossia, l'insufflazione del gas ha probabilmente prodotto una leggera movimentazione della frangia capillare con un relativo innalzamento dei valori. Si evidenzia che il parametro Redox è una misura indifferenziata e fornisce indicazioni generiche sullo stato Red-OX

6.3.2.15 Ossigeno disciolto

Il parametro **Ossigeno disciolto** non è normato dal *D.Lgs. 152/06 – Titolo V – Parte Quarta, All. 5, Tab. 2*. In Figura 6-26 si riporta l'andamento del parametro nel periodo di osservazione.

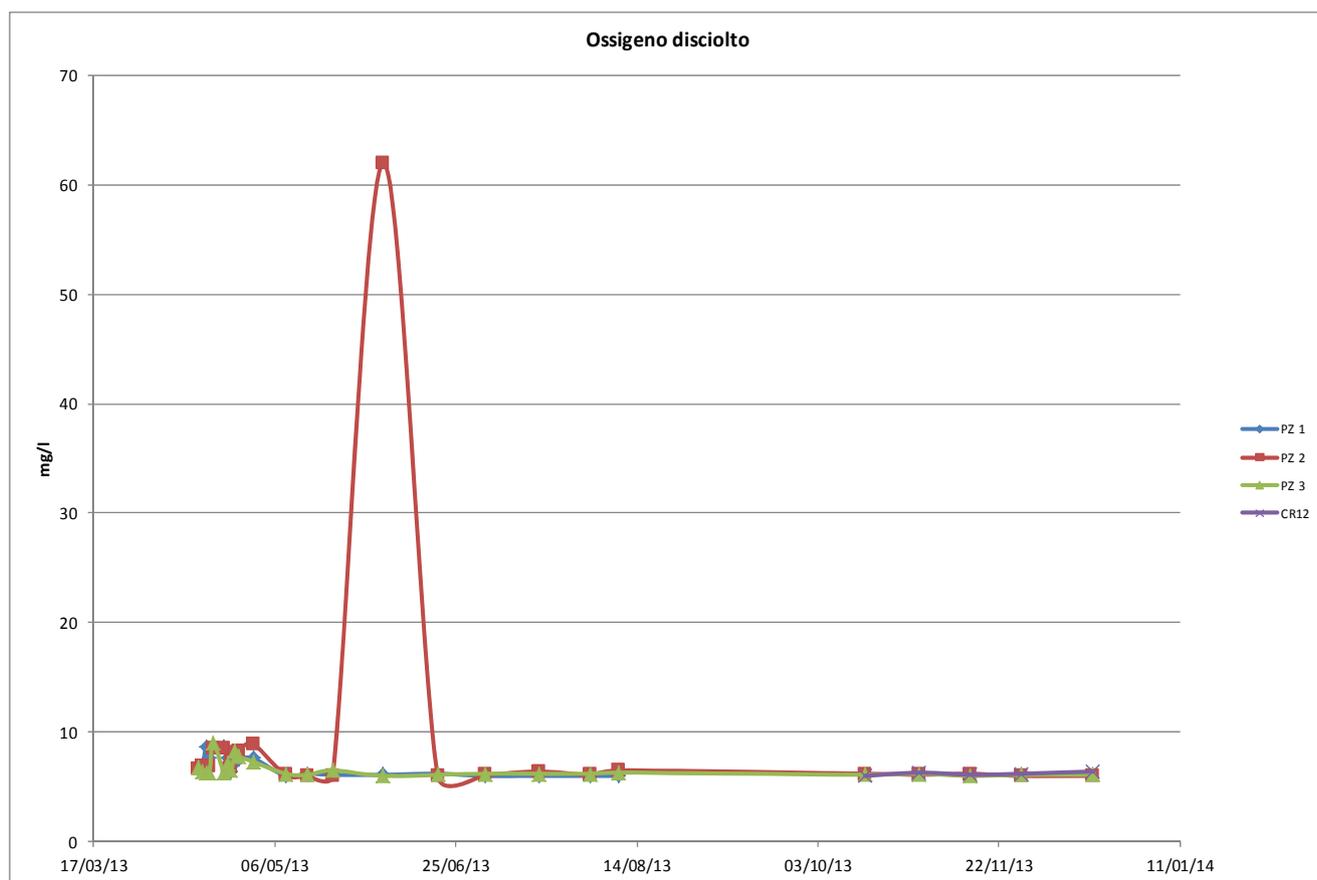


Figura 6-26 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Ossigeno disciolto

Dall'osservazione del grafico si evince quanto segue:

- **Pz1 (monte idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 6 e 8,7 mg/l; la media è pari a 6,9 mg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva
- **CR12 (monte idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 6 e 6,4 mg/l, con media pari a 6,2 mg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva
- **Pz2 (valle idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 6 e 8,9 mg/l, con un picco anomalo pari a 62 mg/l in data 05/06/2013; la media è pari a 6,8 mg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva
- **Pz3 (valle idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 6 e 9 mg/l, con media pari a 6,6 mg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva

Il trend evolutivo nel periodo di monitoraggio è sostanzialmente stabile con limitati scostamenti dalla media, ad eccezione del valore pari a 62 mg/l rilevato in data 05/06/2013 in corrispondenza del Pz2;
 Il valore medio è confrontabile tra i piezometri.
 Il bilancio idrochimico monte-valle è sostanzialmente stabile nel tempo.

6.3.2.16 Potenziale Redox

Il **Potenziale Redox** non è un parametro normato dal *D.Lgs. 152/06 – Titolo V – Parte Quarta, All. 5, Tab. 2*.
 In Figura 6-27 si riporta l'andamento del parametro nel periodo di osservazione.

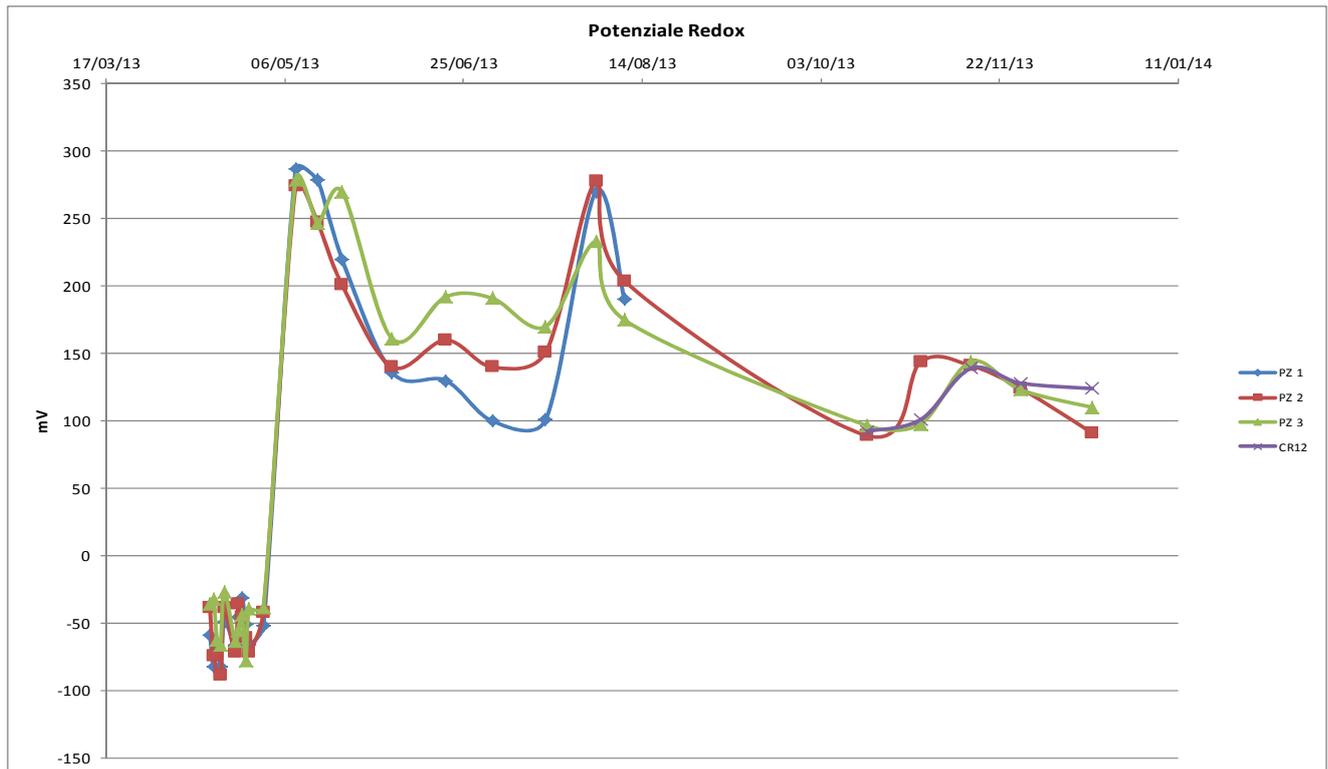


Figura 6-27 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Potenziale Redox

Dall'osservazione del grafico si evidenzia un andamento nettamente differente del valore di Potenziale Redox: in particolare, si evidenziano valori di potenziale negativo nel corso delle prime due settimane di trattamento (15/04/2013-30/04/2013), valori positivi nel restante periodo di test.

In particolare, si considera quanto segue:

- **Pz1 (monte idrogeologico)**
 - ✓ la media dei valori è pari a -59 mV nelle prime 2 settimane, +190 mV nel restante periodo, con la tendenza ad una graduale diminuzione dei valori attraverso oscillazioni più o meno marcate;
 - ✓ si evidenzia che la raccolta dei dati è stata interrotta il 09/08/2013;
- **CR12 (monte idrogeologico)**
 - ✓ Il monitoraggio idrochimico è relativo al solo periodo seguente alla ripresa del test avvenuta in data 16/10/2013; la media dei valori è pari a +116 mV;
- **Pz2 (valle idrogeologico)**
 - ✓ la media dei valori è pari a -57 mV nelle prime 2 settimane, +170 mV nel restante periodo, con la tendenza ad una graduale diminuzione dei valori attraverso oscillazioni più o meno marcate;
- **Pz3 (valle idrogeologico)**
 - ✓ la media dei valori è pari a -49 mV nelle prime 2 settimane, +178 mV nel restante periodo, con la tendenza ad una graduale diminuzione dei valori attraverso oscillazioni più o meno marcate;

Il trend evolutivo nel periodo di monitoraggio evidenzia la confrontabilità dei valori rilevati nei piezometri, sia in termini di valori assoluti che nei termini dell'inversione di polarità registrata al termine delle prime 2 settimane di test.

6.3.2.17 Alcalinità

Il valore di **alcalinità** non è normato dal *D.Lgs. 152/06 – Titolo V – Parte Quarta, All. 5, Tab. 2.*

In Figura 6-28 si riporta l'andamento del parametro nel periodo di osservazione.

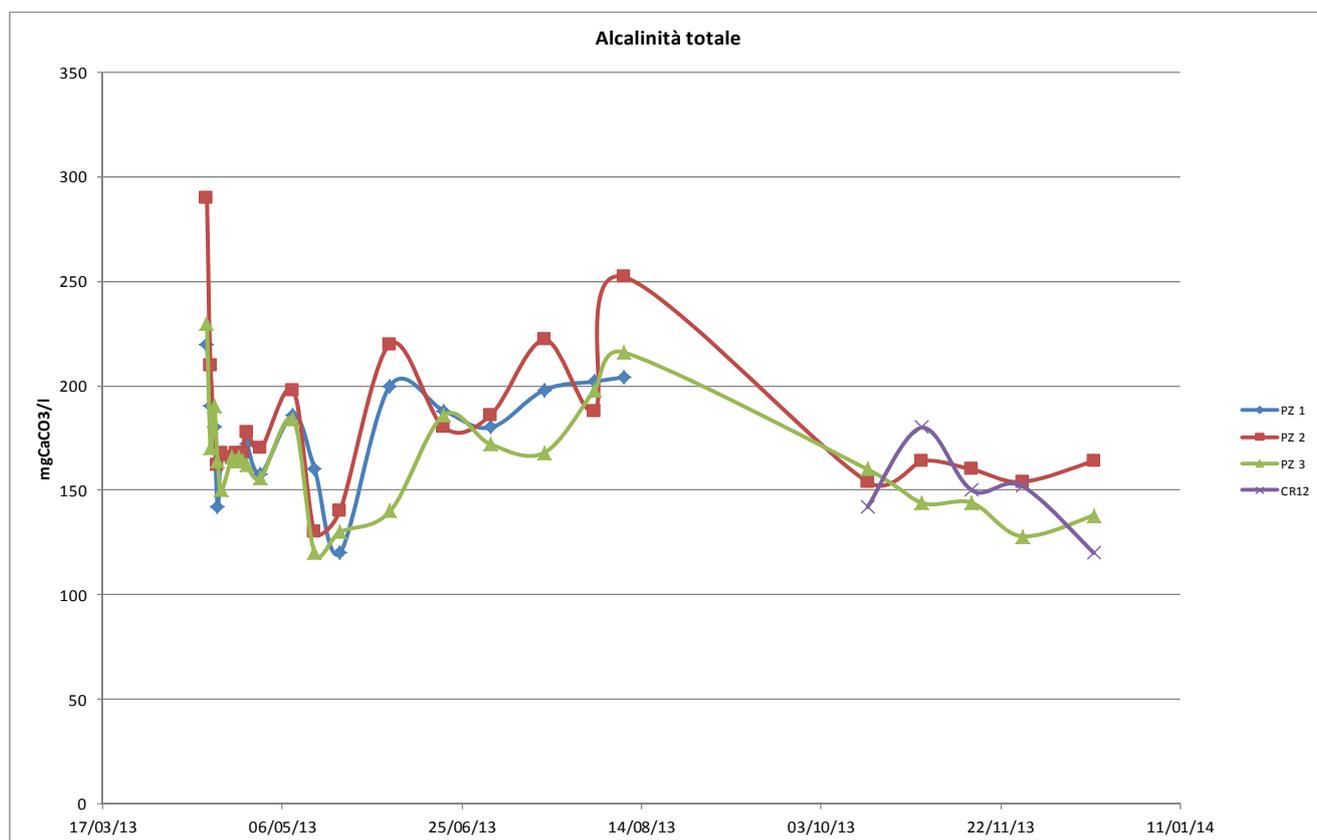


Figura 6-28 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Alcalinità

Dall'osservazione del grafico si evince quanto segue:

- **Pz1 (monte idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 120 e 220 mgCaCO₃/l; la media è pari a 167 mgCaCO₃/l;
 - ✓ si evidenzia un leggero incremento nel periodo di osservazione
- **CR12 (monte idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 120 e 180 mgCaCO₃/l; la media è pari a 150 mgCaCO₃/l;
 - ✓ si evidenzia un leggero decremento nel periodo di osservazione
- **Pz2 (valle idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 130 e 270 mgCaCO₃/l; la media è pari a 181 mgCaCO₃/l;
 - ✓ si evidenzia la sostanziale stabilità nel tempo dei valori di concentrazione all'interno del range individuato
- **Pz3 (valle idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 120 e 230 mgCaCO₃/l; la media è pari a 164 mgCaCO₃/l;
 - ✓ si evidenzia la sostanziale stabilità nel tempo dei valori di concentrazione all'interno del range individuato

Il trend evolutivo nel periodo di monitoraggio è sostanzialmente stabile con oscillazioni individuate all'interno del range prevalente; I valore medio è confrontabile tra i piezometri.

Il bilancio idrochimico monte-valle è sostanzialmente stabile nel tempo.

6.3.2.18 Carbonio Organico Disciolto (DOC)

Il **Carbonio Organico Disciolto (DOC)** non è un parametro normato dal *D.Lgs. 152/06 – Titolo V – Parte Quarta, All. 5, Tab. 2*. In Figura 6-29 si riporta l'andamento del parametro nel periodo di osservazione.

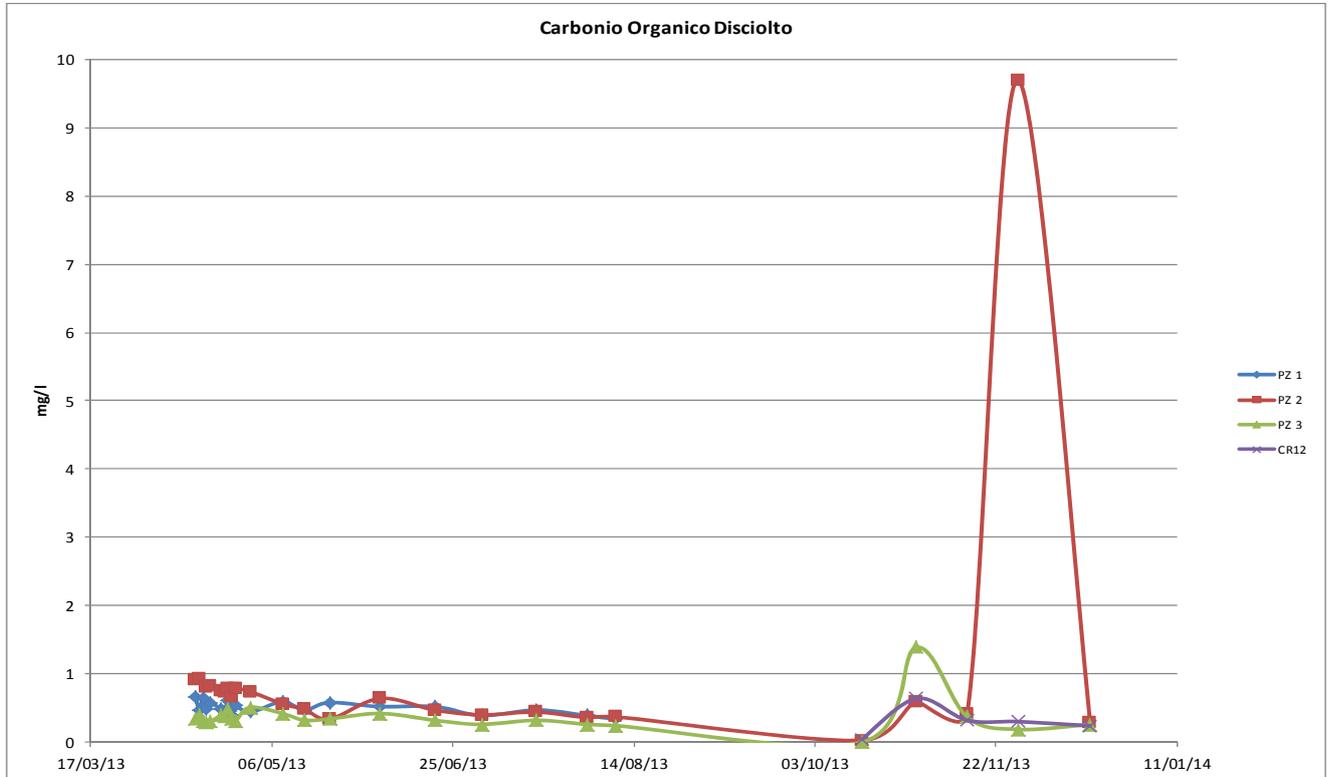


Figura 6-29 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – COD

Dall'osservazione del grafico si evince quanto segue:

- **Pz1 (monte idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 0,34 e 0,66 mg/l; la media è pari a 0,50 mg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva
- **CR12 (monte idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 0,041 e 0,64 mg/l, con media pari a 0,31 mg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva
- **Pz2 (valle idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 0,026 e 0,94 mg/l, con un picco anomalo pari a 9,7 mg/l in data 28/11/2013; la media è pari a 0,58 mg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva
- **Pz3 (valle idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 0,19 e 1,39 mg/l, con media pari a 0,38 mg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva

Il trend evolutivo nel periodo di monitoraggio è sostanzialmente stabile con limitati scostamenti dalla media, ad eccezione del valore anomalo pari a 9,7 mg/l rilevato in data 28/11/2013 in corrispondenza del Pz2.

Il valore medio è confrontabile tra i piezometri, in particolare tra Pz1 a Pz2 e CR12 e Pz3.

Il bilancio idrochimico monte-valle è sostanzialmente stabile nel tempo.

Dall'osservazione del grafico di Figura 6-29 non si evidenziano fenomeni di mobilizzazione legati all'esecuzione del test. E' possibile affermare che trattamento non determina alcuna veicolazione di sostanze organiche, con conseguente innalzamento dei valori di COD.

6.3.2.19 Carbonio Organico Totale (TOC)

Il Carbonio Organico Totale (TOC) non è un parametro normato dal D.Lgs. 152/06 – Titolo V – Parte Quarta, All. 5, Tab. 2. In Figura 6-30 si riporta l'andamento del parametro nel periodo di osservazione.

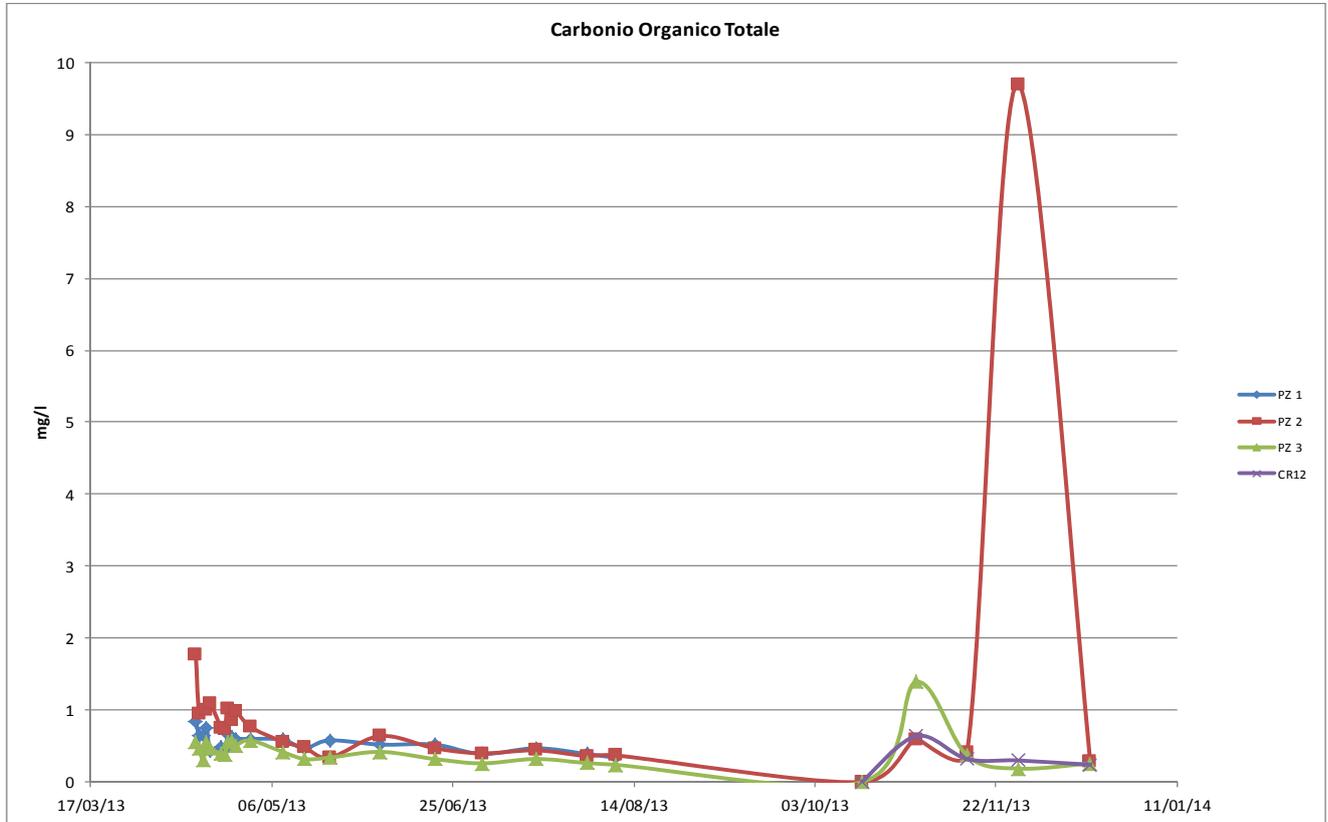


Figura 6-30 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – COT

Dall'osservazione del grafico si evince quanto segue:

- **Pz1 (monte idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 0,34 e 0,85 mg/l; la media è pari a 0,55 mg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva
- **CR12 (monte idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 0,041 e 0,64 mg/l, con media pari a 0,31 mg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva
- **Pz2 (valle idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 0,29 e 1,78 mg/l, con un picco anomalo pari a 9,7 mg/l in data 28/11/2013; la media è pari a 0,58 mg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva
- **Pz3 (valle idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 0,24 e 1,39 mg/l, con media pari a 0,38 mg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva

Il trend evolutivo nel periodo di monitoraggio è sostanzialmente stabile con limitati scostamenti dalla media, ad eccezione del valore anomalo pari a 9,7 mg/l rilevato in data 28/11/2013 in corrispondenza del Pz2.

Il valore medio è confrontabile tra i piezometri, in particolare tra Pz1 a Pz2 e CR12 e Pz3.

Come per il parametro DOC, Il bilancio idrochimico monte-valle è sostanzialmente stabile nel tempo.

6.3.2.20 Solfuri

Il parametro **Solfuri** non è normato dal *D.Lgs. 152/06 – Titolo V – Parte Quarta, All. 5, Tab. 2*.

Nel corso del monitoraggio la concentrazione di Solfuri non è mai stata rilevata oltre il limite strumentale pari a 0,4 mg/l.

6.3.2.21 Solfati

Il limite normativo di cui al *D.Lgs. 152/06 – Titolo V – Parte Quarta, All. 5, Tab. 2* per il parametro **Solfati** nelle acque di falda è pari a **250 µg/l**.

In Figura 6-31 si riporta l'andamento del parametro nel periodo di osservazione.

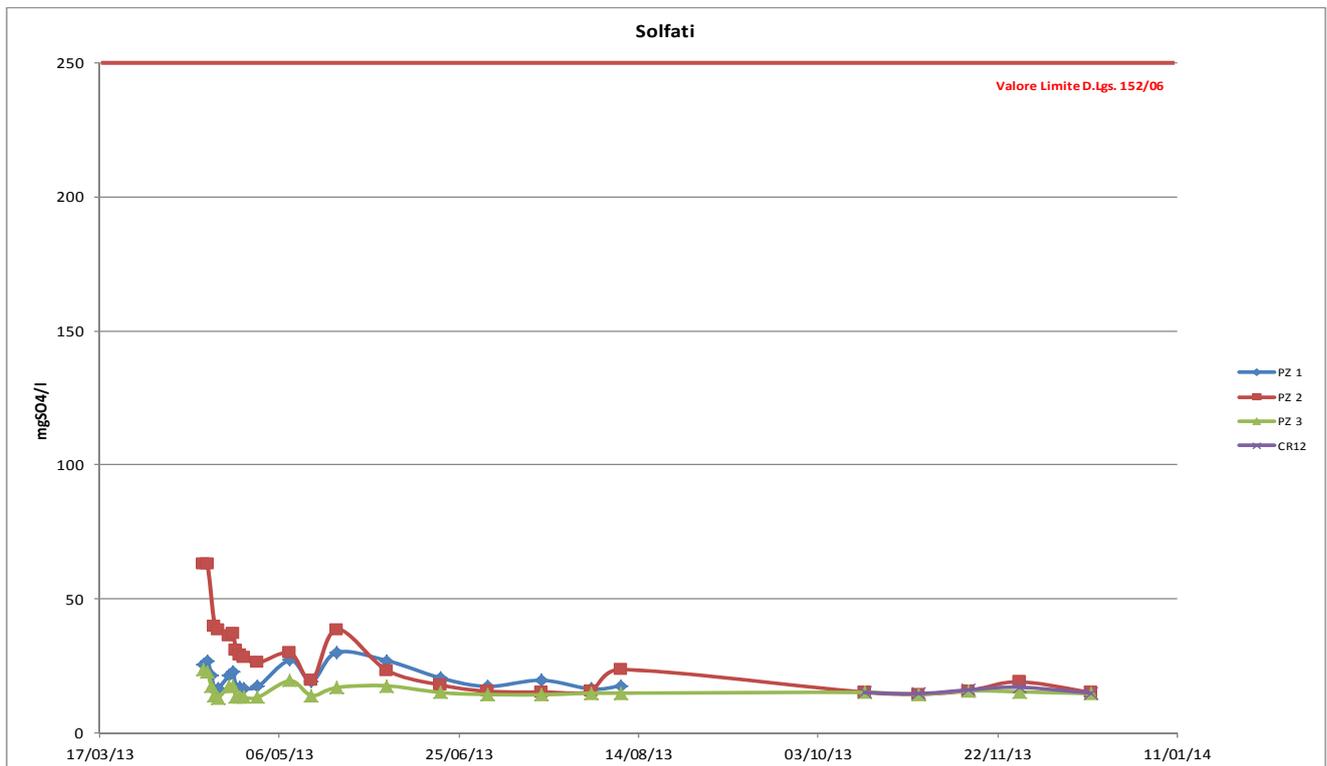


Figura 6-31 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Solfati

Dall'osservazione del grafico si evince quanto segue:

- **Pz1 (monte idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 16,2 e 30,1 mg/l; la media è pari a 20,7 mg/l;
 - ✓ si osserva una debole tendenza evolutiva alla diminuzione nel periodo di riferimento
- **CR12 (monte idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 14,7 e 17,1 mg/l, con media pari a 15,6 mg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva
- **Pz2 (valle idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 14,5 e 63,1 mg/l; la media è pari a 28,0 mg/l;
 - ✓ dopo un iniziale periodo caratterizzato da valori di concentrazione relativamente elevata, si osserva la stabilizzazione su valori relativamente bassi
- **Pz3 (valle idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 13,2 e 23,7 mg/l, con media pari a 15,8 mg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva

Il trend evolutivo nel periodo di monitoraggio è sostanzialmente stabile con limitati scostamenti dalla media osservabili soprattutto nel primo mese di campionamento. Nel Pz2 si osservano i valori più elevati, che tendono nel tempo a stabilizzarsi conformemente a quanto osservato negli altri piezometri.

Il bilancio idrochimico monte-valle è sostanzialmente stabile nel tempo.

6.3.2.22 Fosfati

Il limite normativo di cui al *D.Lgs. 152/06 – Titolo V – Parte Quarta, All. 5, Tab. 2* per il parametro **Fosfati** nelle acque di falda è pari a **250 µg/l**.

In Figura 6-32 si riporta l'andamento del parametro nel periodo di osservazione.

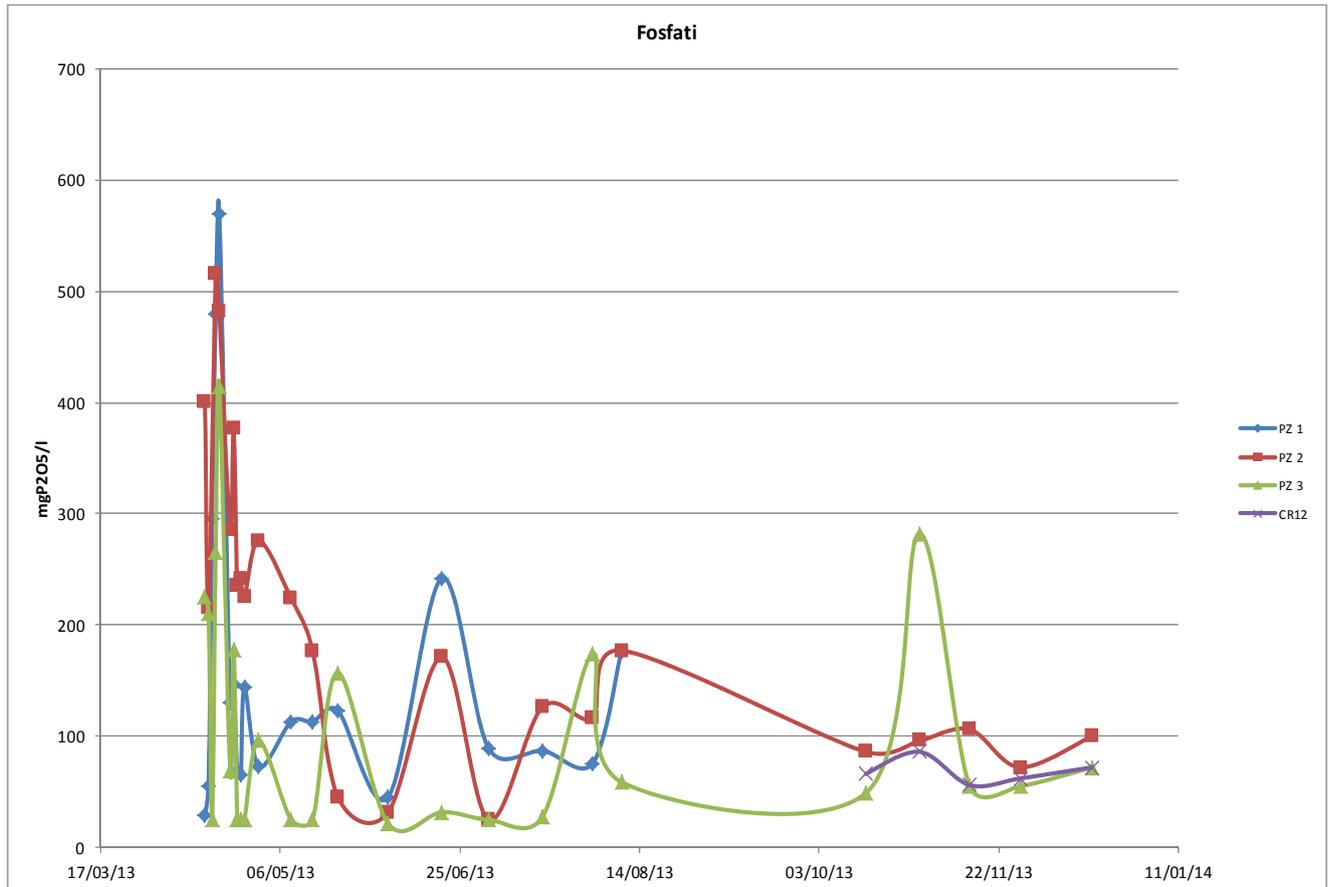


Figura 6-32 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Fosfati

Dall'osservazione del grafico si evince quanto segue:

- **Pz1 (monte idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 28 e 570 mg/l; la media è pari a 156 mg/l;
 - ✓ si osserva una debole tendenza evolutiva alla diminuzione nel periodo di riferimento
- **CR12 (monte idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 56 e 86 mg/l, con media pari a 68 mg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva
- **Pz2 (valle idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 25 e 516 mg/l; la media è pari a 200 mg/l;
 - ✓ dopo un iniziale periodo caratterizzato da valori di concentrazione relativamente elevata, si osserva la stabilizzazione su valori relativamente bassi
- **Pz3 (valle idrogeologico)**
 - ✓ il range di valori varia tra 22 e 414 mg/l, con media pari a 105 mg/l;
 - ✓ non si evidenzia una particolare tendenza evolutiva

Per tutti i piezometri relativi alla prima fase del monitoraggio, si evidenzia una elevata variabilità della concentrazione all'interno del range individuato. La variabilità tende a diminuire nel tempo così come la concentrazione sino a stabilizzarsi su valori medi pari a circa 100 mg/l.

Il bilancio idrochimico monte-valle è sostanzialmente stabile nel tempo.

6.3.3 Monitoraggio Post-operam

Alla data della stesura del presente documento sono disponibili gli esiti analitici relativi al campionamento post-operam effettuato rispettivamente 2 e 15 giorni dopo lo spegnimento degli impianti.

Prova	Identificazione:		CR12	Pz2	Pz3	CR12	Pz2	Pz3
	Un.Mis.	Limite	30/12/13			16/01/14		
pH	unità pH		7,54	7,66	7,54	7,5	7,52	7,48
Conducibilità elettrica a 25°C	uS/cm		366	381	349	542	437	364
Ossigeno disciolto	mg/l		6,4	6	6,1	6,2	6	6,1
Potenziale Redox	mV		124	91	110	95,4	94	90,3
Alcalinità Totale	mgCaCO3/l		120	164	138	240	180	180
DOC	mg/l		0,24	0,29	0,26	2,5	2,4	3,4
TOC	mg/l		0,24	0,29	0,26	2,5	2,4	3,4
Solfuri	mg/l		< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4
Solfati	mgSO4/l	250	14,9	15,1	14,7	5,01	28,4	16,1
Fosfati	ugP2O5/l		72	100	72	52,1	211	52,1
Cromo totale	ug/l	50	0,87	1,27	0,91	0,88	17,4	1,49
Cromo VI	ug/l	5	0,47	< 0,33	< 0,33	0,5	16,1	1,05
Arsenico	ug/l	10	0,9	2,42	1,58	0,95	2,05	1,52
Argento	ug/l	10	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Bario	ug/l		40,6	32,2	33,5	32,3	55,3	31,2
Cadmio	ug/l	5	0,059	0,156	0,095	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Cobalto	ug/l	50	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,195	< 0,1
Rame	ug/l	1000	1,3	1,28	2,01	0,87	2,76	0,515
Stagno	ug/l		< 0,05	< 0,05	0,0518	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Manganese	ug/l	50	4,16	9,9	7	1,44	14,1	6,7
Ferro	ug/l	200	10,2	27,8	20,8	13,2	21,5	23,5
Mercurio	ug/l	1	< 0,04	< 0,04	0,243	< 0,04	< 0,04	< 0,04
Molibdeno	ug/l		0,82	< 0,17	8,7	0,618	0,7	0,581
Nichel	ug/l	20	1,16	2,77	1,61	1,79	23,8	1,63
Piombo	ug/l	10	0,87	0,454	0,278	0,326	0,95	0,232
Selenio	ug/l	10	< 0,61	< 0,61	0,85	< 0,61	< 0,61	< 0,61
Zinco	ug/l	3000	28,7	26,6	52	8,4	12,8	38,7
soggiacenza	m da bp		24,66	24,25	24,34	23,86	23,45	23,55

Tabella 6-6 - Analisi acque di falda – monitoraggio post operam

Dall'osservazione della Tabella 6-6 si evince che i parametri analizzati a 2 e 15 giorni dallo spegnimento dell'impianto rimangono sostanzialmente stabili ed in conformità con il trend evolutivo evidenziato nell'ultimo periodo di trattamento, con le sole eccezioni dei parametri cromo totale, cromo esavalente e nichel in corrispondenza del Pz2: il campionamento effettuato a 15 giorni dopo lo spegnimento degli impianti evidenzia l'aumento della concentrazione in falda di tali parametri associato ad una sostanziale risalita del livello piezometrico della falda.

In particolare, si evidenzia come nel periodo compreso tra il 20/12/2013 ed il 16/01/2014 il livello freatico sia aumentato di circa 80 cm, ovvero, abbia raggiunto valori di soggiacenza prossimi a quanto misurato ad inizio test (Aprile 2013).

6.3.4 Monitoraggio Barriera idraulica

Il monitoraggio idrochimico delle acque di falda in corrispondenza dei pozzi denominati G2 e G6, facenti parte della barriera idraulica attiva a presidio del sito, è stato effettuato con cadenza mensile per tutto il periodo di conduzione del test di bonifica, secondo il protocollo concordato con la Direzione Lavori.

Si evidenzia che la barriera idraulica è risultata, alla data dei campionamenti, attiva nel periodo Aprile-Agosto ed inattiva nel periodo Ottobre-Dicembre. In occasione dei campionamenti effettuati con barriera idraulica inattiva, è stato previsto uno spurgo di almeno 30 minuti prima di effettuare la raccolta dei campioni.

In data 18/12/2013 in relazione all'impossibilità di attivare il pozzo G2, è stato utilizzato il pozzo G4, ubicato circa 10 m a valle idrogeologico del pozzo G2. Gli esiti analitici ottenuti dalle analisi delle acque prelevate in corrispondenza del pozzo G4 risultano conformi per tutti i parametri a quelli relativi al pozzo G2.

Dall'esame del complesso degli esiti delle analisi di laboratorio e dal confronto con i risultati del monitoraggio idrochimico dei piezometri ubicati in corrispondenza del cantiere Sapiro si evidenzia quanto segue:

Cromo esavalente

Pozzo G2/G4

- ✓ dopo un iniziale aumento nel periodo Maggio-Giugno, si osserva una sostanziale e progressiva diminuzione dei valori di concentrazione compresi tra un massimo di 507 µg/l il 20/06/2013 e un minimo di 0,54 µg/l il 18/12/2013;
- ✓ il trend evolutivo osservato in corrispondenza della barriera idraulica è conforme a quanto osservato in corrispondenza dell'area di trattamento, con uno sfasamento temporale di circa un mese;
- ✓ Il confronto dei valori assoluti di concentrazione evidenzia come nel pozzo G2 la concentrazione massima di Cr VI nelle acque di falda sia inferiore di un ordine di grandezza a quanto rilevato in corrispondenza del Pz2 e superiore di un ordine di grandezza rispetto ai Pz1 e Pz3
- ✓ a partire dal campionamento effettuato in data 28/11/2013 i valori di concentrazione rientrano nei limiti di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 5,0 µg/l;

Pozzo G6

- ✓ si osserva un trend evolutivo sostanzialmente stabile nel tempo, con valori di concentrazione superiori ai limiti di cui al D.Lgs. 152/06 solo in data 15/05/2013 (9,3 µg/l) e 28/11/2013 (7,0 µg/l); I restanti campionamenti evidenziano valori compresi tra 2,64 e 0,76 µg/l.

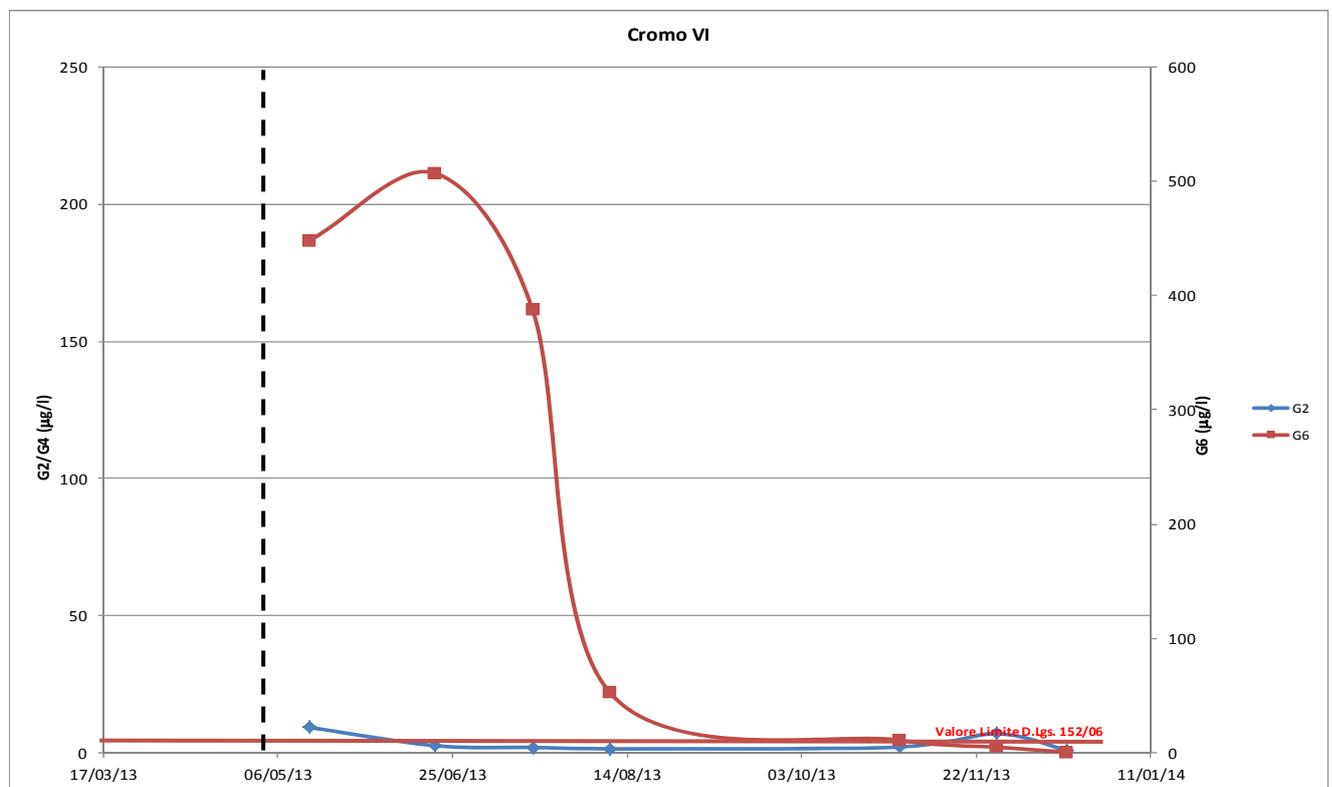


Figura 6-33 - Analisi acque di falda – monitoraggio in operam – Barriera idraulica

Per completezza, di seguito si riporta il grafico relativo alle analisi effettuate e rese disponibili da ETRA S.p.A. nell'ambito dei monitoraggio periodico dei pozzi della barriera idraulica inerente il solo parametro Cr VI.

In particolare, in Figura 6-34 si riporta l'andamento della concentrazione in corrispondenza dei pozzi G2, G4 e G6.

La linea tratteggiata presente nei grafici di Figura 6-33 e Figura 6-34 indica il medesimo riferimento temporale.

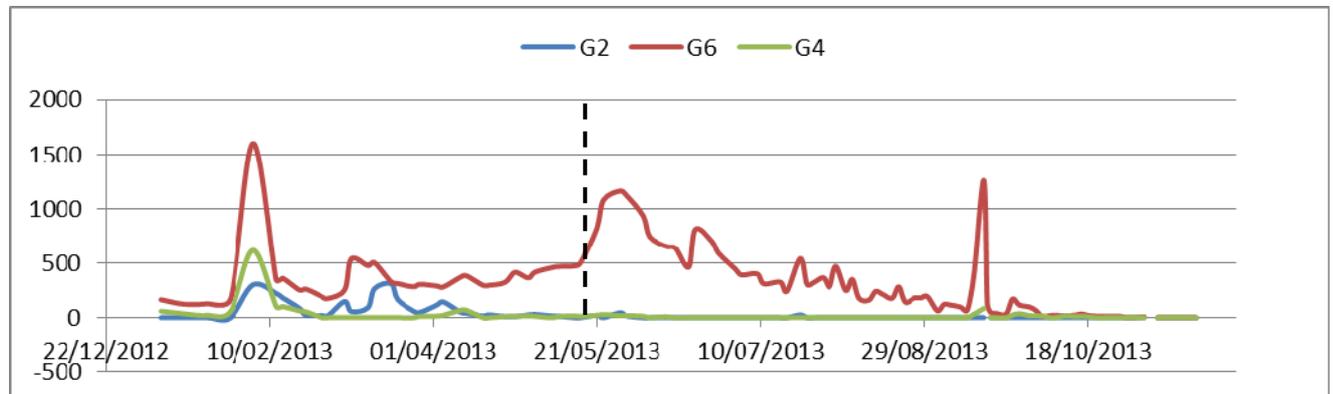


Figura 6-34 - Analisi acque di falda – Barriera idraulica - Serie storica 2012-2013

dall'osservazione del grafico si evince quanto segue:

- In corrispondenza del pozzo G6 si rilevano valori di concentrazione mediamente superiori rispetto a G2 e G4;
- La concentrazione di Cromo esavalente nel pozzo G6 evidenzia un trend variabile nel corso dell'anno: da Gennaio a Giugno si evidenzia un trend in aumento con un picco isolato nel mese di Febbraio e un periodo di massimo relativo nel periodo Maggio-Giugno; da metà maggio a Fine Novembre si osserva un trend in diminuzione con eccezione per un picco isolato nel mese di Settembre;
- La concentrazione di Cromo esavalente nei pozzi G2 e G4 evidenzia un periodo di variabilità tra Gennaio ed Aprile (range 0 ÷ 400 µg/l) seguito da un periodo caratterizzato da un trend stabile con valori relativamente bassi (range 0 ÷ 80 µg/l);

Dal confronto tra i grafici di Figura 6-33 e Figura 6-34 si evidenzia una buona corrispondenza dei dati raccolti separatamente da ETRA e SAPIO, con particolare riferimento al trend di medio periodo e tenuto conto della diversa cadenza di monitoraggio e dei diversi protocolli di raccolta dei campioni e di analisi di laboratorio.

Cromo totale

Pozzo G2/G4

- ✓ Il trend evolutivo del Cromo totale è confrontabile con quello evidenziato per il Cromo VI;
- ✓ dopo un iniziale aumento nel periodo Maggio-Giugno, si osserva una sostanziale e progressiva diminuzione dei valori di concentrazione compresi tra un massimo di 597 µg/l il 20/06/2013 e un minimo di 1,81 µg/l il 18/12/2013;
- ✓ il trend evolutivo osservato in corrispondenza della barriera idraulica è conforme a quanto osservato in corrispondenza dell'area di trattamento, con uno sfasamento temporale di circa un mese;
- ✓ Il confronto dei valori assoluti di concentrazione evidenzia come nel pozzo G2 la concentrazione massima di Cr VI nelle acque di falda sia inferiore di un ordine di grandezza a quanto rilevato in corrispondenza del Pz2 e superiore di un ordine di grandezza rispetto ai Pz1 e Pz3
- ✓ a partire dal campionamento effettuato in data 31/10/2013 i valori di concentrazione rientrano nei limiti di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 50,0 µg/l;

Pozzo G6

- ✓ Il trend evolutivo del Cromo totale è confrontabile con quello evidenziato per il Cromo VI;
 - ✓ si osserva un trend evolutivo sostanzialmente stabile nel tempo, con valori di concentrazione sempre inferiori ai limiti di cui al D.Lgs. 152/06 con massimi relativi in data 15/05/2013 (10,3 µg/l) e 28/11/2013 (7,0 µg/l);
- I restanti campionamenti evidenziano valori compresi tra 2,89 e 1,50 µg/l.

Nichel**Pozzo G2/G4**

- ✓ si osserva un trend evolutivo sostanzialmente stabile nel tempo, con valori di concentrazione sempre inferiori ai limiti di cui al D.Lgs. 152/06 e compresi tra 1,98 e 1,02 µg/l.

Pozzo G6

- ✓ Il trend evolutivo del Nichel evidenzia la progressiva diminuzione dei valori di concentrazione compresi tra un massimo di 10,4 µg/l il 15/05/2013 e un minimo di 1,66 µg/l il 28/11/2013;
- ✓ il trend evolutivo osservato in corrispondenza della barriera idraulica è conforme a quanto osservato in corrispondenza dell'area di trattamento, dove si è assistito ad un repentino calo dei valori nel primo mese di monitoraggio, con particolare riferimento al piezometro Pz2;
- ✓ I valori di concentrazione rientrano sempre nei limiti di cui al D.Lgs. 152/06, pari a 20,0 µg/l.

Arsenico**Pozzo G2/G4**

- ✓ si osserva un trend evolutivo sostanzialmente stabile nel tempo, con valori di concentrazione sempre inferiori ai limiti di cui al D.Lgs. 152/06 (10 µg/l) e compresi tra 1,75 e 0,71 µg/l.

Pozzo G6

- ✓ si osserva un trend evolutivo sostanzialmente stabile nel tempo, con valori di concentrazione sempre inferiori ai limiti di cui al D.Lgs. 152/06 (10 µg/l) e compresi tra 2,18 e 1,15 µg/l.

Manganese**Pozzo G2/G4**

- ✓ si osserva un trend evolutivo sostanzialmente stabile nel tempo, con valori di concentrazione sempre inferiori ai limiti di cui al D.Lgs. 152/06 (50 µg/l) e compresi tra 1,1 e 0,187 µg/l.

Pozzo G6

- ✓ si osserva un trend evolutivo sostanzialmente stabile nel tempo, con valori di concentrazione sempre inferiori ai limiti di cui al D.Lgs. 152/06 (50 µg/l) e compresi tra 24,5 e 0,217 µg/l.
- ✓ Si evidenzia il repentino aumento dei valori in data 14/08/2013 seguito dalla graduale diminuzione nei due mesi successivi.

Nei pozzi della barriera idraulica non si registra il picco di concentrazione rilevato nei piezometri di monitoraggio nell'Ottobre 2013

Ferro**Pozzo G2/G4**

- ✓ si osserva un trend evolutivo sostanzialmente stabile nel tempo, con valori di concentrazione sempre inferiori ai limiti di cui al D.Lgs. 152/06 (200 µg/l) e compresi tra 25,2 e 2,52 µg/l.

Pozzo G6

- ✓ si osserva un trend evolutivo sostanzialmente stabile nel tempo, con valori di concentrazione sempre inferiori ai limiti di cui al D.Lgs. 152/06 (200 µg/l) e compresi tra 40,2 e 6,9 µg/l.

Piombo**Pozzo G2/G4**

- ✓ si osserva un trend evolutivo sostanzialmente stabile nel tempo, con valori di concentrazione sempre inferiori ai limiti di cui al D.Lgs. 152/06 (10 µg/l) e compresi tra 0,349 ed il limite di rilevabilità del metodo analitico.

Pozzo G6

- ✓ si osserva un trend evolutivo sostanzialmente stabile nel tempo, con valori di concentrazione sempre inferiori ai limiti di cui al D.Lgs. 152/06 (10 µg/l) e compresi tra 1,57 ed il limite di rilevabilità del metodo analitico.

Bario**Pozzo G2/G4**

- ✓ si osserva un trend evolutivo sostanzialmente stabile nel tempo, con valori di concentrazione compresi tra 33,2 e 28,3 µg/l.

Pozzo G6

- ✓ si osserva un trend evolutivo sostanzialmente stabile nel tempo, con valori di concentrazione compresi tra 34,5 e 27,1 µg/l.

Altri metalli**Pozzo G2/G4**

- ✓ relativamente alla concentrazione dei restanti metalli analizzati non si evidenziano particolari criticità.

Pozzo G6

- ✓ relativamente alla concentrazione dei restanti metalli analizzati non si evidenziano particolari criticità.

pH**Pozzo G2/G4**

- ✓ si osserva un trend evolutivo sostanzialmente stabile nel tempo, con valori compresi tra 7,48 e 7,20. L'ultimo campionamento effettuato in data 18/12/2013 (pozzo G4) evidenzia un leggero scostamento in aumento rispetto alla media del periodo. Tali valori sono confrontabili con quelli rilevati in corrispondenza dei piezometri di monitoraggio.

Pozzo G6

- ✓ si osserva un trend evolutivo sostanzialmente stabile nel tempo, con valori compresi tra 7,74 e 7,40. L'ultimo campionamento effettuato in data 18/12/2013 evidenzia un leggero scostamento in aumento rispetto alla media del periodo. Tali valori sono confrontabili con quelli rilevati in corrispondenza dei piezometri di monitoraggio.

Conducibilità elettrica**Pozzo G2/G4**

- ✓ I valori di conducibilità elettrica sono variabili nel tempo in un range compreso tra 359 e 305 µS/cm. Tali valori sono confrontabili con quelli rilevati in corrispondenza dei piezometri di monitoraggio.

Pozzo G6

- ✓ I valori di conducibilità elettrica sono variabili nel tempo in un range compreso tra 364 e 316 µS/cm. Tali valori sono confrontabili con quelli rilevati in corrispondenza dei piezometri di monitoraggio.

Ossigeno disciolto**Pozzo G2/G4**

- ✓ I valori di concentrazione di ossigeno disciolto sono variabili nel tempo in un range compreso tra 6,5 e 6,0 µg/l. Tali valori sono confrontabili con quelli rilevati in corrispondenza dei piezometri di monitoraggio.

Pozzo G6

- ✓ I valori di concentrazione di ossigeno disciolto sono variabili nel tempo in un range compreso tra 6,4 e 6,1 µg/l. Tali valori sono confrontabili con quelli rilevati in corrispondenza dei piezometri di monitoraggio.

Potenziale Redox**Pozzo G2/G4**

- ✓ Il potenziale Redox è variabile nel tempo in un range compreso tra 255 e 116 mV. Tali valori sono confrontabili con quelli rilevati in corrispondenza dei piezometri di monitoraggio nel medesimo periodo di monitoraggio.

Pozzo G6

- ✓ Il potenziale Redox è variabile nel tempo in un range compreso tra 273 e 111 mV. Tali valori sono confrontabili con quelli rilevati in corrispondenza dei piezometri di monitoraggio nel medesimo periodo di monitoraggio.

Alcalinità**Pozzo G2/G4**

- ✓ L'alcalinità è variabile nel tempo in un range compreso tra 240 e 108 mgCaCO₃/l. Tali valori sono confrontabili con quelli rilevati in corrispondenza dei piezometri di monitoraggio nel medesimo periodo di monitoraggio.

Pozzo G6

- ✓ L'alcalinità è variabile nel tempo in un range compreso tra 206 e 120 mgCaCO₃/l. Tali valori sono confrontabili con quelli rilevati in corrispondenza dei piezometri di monitoraggio nel medesimo periodo di monitoraggio.

DOC e TOC

Pozzo G2/G4

- ✓ I valori di Carbonio Organico Totale e Disciolto sono sempre inferiori a 1,0 mg/l e confrontabili con quelli rilevati in corrispondenza dei piezometri di monitoraggio nel medesimo periodo di monitoraggio.

Pozzo G6

- ✓ I valori di Carbonio Organico Totale e Disciolto sono sempre inferiori a 1,0 mg/l e confrontabili con quelli rilevati in corrispondenza dei piezometri di monitoraggio nel medesimo periodo di monitoraggio.

Fosfati

Pozzo G2/G4

- ✓ La concentrazione è variabile nel tempo in un range compreso tra 86 e 21 µgP₂O₅/l. Tali valori sono confrontabili con quelli rilevati in corrispondenza dei piezometri di monitoraggio nel medesimo periodo di monitoraggio.

Pozzo G6

- ✓ La concentrazione è variabile nel tempo in un range compreso tra 66 e 35 µgP₂O₅/l con l'eccezione di un picco anomalo pari a 724 µgP₂O₅/l in data 31/10/2013. Tali valori, compreso il picco isolato di concentrazione, sono confrontabili con quelli rilevati in corrispondenza dei piezometri di monitoraggio nel medesimo periodo di monitoraggio.

6.3.5 Considerazioni riassuntive

Il complesso delle analisi inerente il monitoraggio idrochimico effettuato in corrispondenza del campo prove SAPIO evidenzia quanto segue:

- il monitoraggio ante-operam (21/02/2013) evidenzia il superamento dei limiti normativi di cui al D.Lgs.152/06 dei parametri Cr tot (solo Pz2) e Cr VI (tutti i piezometri); il bilancio idrochimico "monte-valle" evidenzia un apporto sostanziale da parte dell'area di previsto trattamento;
- il monitoraggio in operam (15/04/2013-18/12/2013) conferma nel mese di Aprile la presenza di concentrazioni di Cr tot e Cr VI eccedenti i limiti normativi in tutti i piezometri, con massimo in corrispondenza del Pz2; si rilevano inoltre valori eccedenti i limiti relativamente al parametro Nichel. Il bilancio idrochimico "monte-valle" conferma in tale fase l'apporto sostanziale da parte dell'area di trattamento. Dal mese di maggio si osserva la progressiva diminuzione della concentrazione dei contaminanti sino alla conformità ai limiti normativi per tutti i parametri a partire dal mese di Ottobre. Si rilevano isolati ed occasionali superamenti dei limiti normativi per i parametri Manganese e Ferro.
- il monitoraggio post-operam, relativamente al periodo 28/12/2013-16/01/2014, evidenzia un trend sostanzialmente stabile, con le sole eccezioni dei parametri cromo totale, cromo esavalente e nichel in corrispondenza del Pz2: in data 16/01/2014 si osserva il superamento dei limiti normativi;
- Il Pz2, ubicato a valle idrogeologico rispetto all'area di trattamento, si conferma per tutto il periodo di monitoraggio come punto di maggiore criticità relativamente ai parametri Cromo totale, Cromo VI e Nichel; In particolare, relativamente al parametro Cr VI si osservano i seguenti valori:
 - monitoraggio ante-operam: 230 µg/l a Febbraio 2013;
 - monitoraggio in operam: da 3.235 µg/l ad Aprile a <0,33 µg/l a Dicembre 2013;
 - monitoraggio post-operam: <0,33 µg/l a Dicembre 2013 e 16,1 µg/l a Gennaio 2014;
- relativamente alla **riduzione della concentrazione** di Cr VI rispetto al valore di start-up pari a 3.008 µg/l (Pz2) si osserva un decremento sostanziale già dopo 30 giorni (-91,9%); **al termine del Test, la riduzione percentuale è pari al 100%**;
- il monitoraggio piezometrico evidenzia un'escursione stagionale della falda pari a circa 3,2 m con massimo in Agosto (21,07 m da p.c.) e minimo in Dicembre (24,20 m da p.c.);

7 CONCLUSIONI E VALUTAZIONE DEI RISULTATI OTTENUTI

Il Test pilota con tecnologia denominata **Soilution** è stato condotto su incarico di **ETRA S.p.A.** dalla Società **SAPIO Srl**, che si è occupata della realizzazione degli impianti soprasuolo e della conduzione operativa del test, e dalla Società **SOIL WATER Srl** che si è occupata della realizzazione degli impianti sottosuolo, della conduzione tecnica del test unitamente ai monitoraggi ambientali inerenti le matrici terreno e acqua di falda.

La finalità del test è consistita nella valutazione dell'idoneità e dell'applicabilità *full scale* al sito "Ex PM Galvanica" di Tezze sul Brenta (VI) della metodologia di bonifica **Soilution** che prevede la stabilizzazione geochimica del Cromo ottenuta attraverso la riduzione del Cromo VI a Cromo III mediante l'utilizzo di una miscela di gas tecnici insufflati direttamente nel terreno e posti a contatto con il contaminante presente sia nella matrice terreno che nelle acque di falda.

Le ATTIVITÀ PROPEDEUTICHE ALL'ESECUZIONE DEL TEST sono state effettuate nel periodo Novembre 2012 - Febbraio 2013 ed hanno previsto le seguenti **attività di cantiere**:

- Realizzazione di n.3 impianti sottosuolo costituiti da un diffusore per l'insufflaggio della miscela riducente, da n.3 pozzi multilivello per il contestuale monitoraggio dei gas interstiziali, n.1 pozzo multilivello di monitoraggio dei gas ubicato in posizione baricentrica e n.3 postazioni sub-slab;
- Realizzazione di n.2 piezometri di monitoraggio della falda;
- Raccolta di dati ambientali inerenti le matrici terreno e acqua di falda (campioni per la caratterizzazione chimica ante-operam);
- Realizzazione degli impianti soprasuolo finalizzati alla somministrazione della miscela riducente di idrogeno-azoto al sistema di immissione nel terreno, costituiti dai serbatoi di stoccaggio dei gas, dal sistema di miscelazione e di distribuzione;
- Collegamento con gli impianti sottosuolo e taratura preliminare degli impianti.

Il complesso degli interventi è stato realizzato in conformità ai contenuti del **PROGETTO PRELIMINARE di TEST DI TRATTABILITÀ** redatto da SAPIO ed ai documenti tecnici predisposti da Golder (n.C1126 - Gennaio 2011 e. C4121T/11 - Maggio 2011 – costituenti il c.d. "protocollo Golder").

A seguito del completamento e collaudo degli impianti e ottenuta l'agibilità del cantiere dalla Direzione Lavori, nel periodo compreso tra il 15/04/2013 e il 29/12/2013 è stata attivata la FASE DI CONDUZIONE DEL TEST.

Si evidenzia che nel periodo compreso tra il 16/08/2013 ed il 09/10/2013 è stata disposta dal Coordinatore per la Sicurezza di ETRA S.p.A. l'interruzione del cantiere per l'inagibilità dello stesso.

Per tutto il periodo della prova, la portata di insufflaggio della miscela è stata impostata pari a 15Nm³/h. L'insufflaggio è stato modulato tramite i quadri gas in modo tale da procedere con l'immissione a rotazione nei n.3 diffusori con periodo di 7 ore ciascuno, con 3 ore di fermo dell'impianto.

Durante l'esecuzione del test, gli impianti sono stati positivamente sottoposti a verifiche periodiche di tenuta ed integrità strutturale.

La conduzione del test ha previsto le seguenti fasi di monitoraggio delle matrici ambientali:

gas in aria interstiziale

Il campionamento è stato effettuato *in operam* in corrispondenza di n.19 punti di monitoraggio (n.16 in corrispondenza dei pozzi multilivello e n.3 punti sub-slab).

monitoraggio dei terreni

Il protocollo di monitoraggio dei terreni ha previsto due fasi di campionamento:

- campionamento *ante-operam* effettuato in corrispondenza dei sondaggi I2 e I3:
 - n.9 campioni di terreno prelevati dal sondaggio I2 sono stati sottoposti ad analisi di laboratorio sul Tal Quale;
 - n.3 campioni di terreno prelevati dal sondaggio I2 e prelevati tra le profondità di 22 e 25 m da p.c. sono stati suddivisi in n.3 aliquote ciascuno (tripletta) e sottoposti a test di lisciviazione;
- il campionamento *post-operam* effettuato in corrispondenza del sondaggio I4 ha previsto le medesime modalità di prelievo, formazione di campioni ed analisi.

monitoraggio delle acque di falda

Il protocollo di monitoraggio delle acque di falda ha previsto tre fasi di campionamento:

- il campionamento *ante-operam* è stato effettuato in corrispondenza dei piezometri Pz1, Pz2 e Pz3 (ex G5) in data 12/11/2012;
- il campionamento *in operam* ha previsto il prelievo di n.3 campioni di acqua prelevati in corrispondenza dei piezometri Pz1 (sostituito in corso d'opera dal piezometro CR12), Pz2 e Pz3 con la cadenza temporale stabilita dai documenti tecnici di riferimento;
- il campionamento *post-operam* ha previsto il prelievo di n.3 campioni di acqua in corrispondenza dei piezometri CR12, Pz2 e Pz3

Le procedure adottate per la raccolta dei dati ambientali sono conformi ai contenuti dei documenti tecnici di riferimento (rif. Golder n.C1126, Gennaio 2011 e n. C4121T/11, Maggio 2011).

Il laboratorio incaricato per l'esecuzione del complesso delle analisi sulle diverse matrici ambientali è stato:

- Lab Analysis Srl di Casanova Lonati (PV).

I protocolli di analisi e le metodiche analitiche sono conformi al "protocollo Golder"

SINTESI DEI RISULTATI CONSEGUITI

Il complesso delle analisi di laboratorio ha evidenziato quanto segue:

GAS IN ARIA INTERSTIZIALE

Il "protocollo Golder" ha previsto il monitoraggio dei **gas interstiziali** con il duplice scopo di verificare la diffusione dei gas insufflati nel sottosuolo dell'area di indagine e di escludere la formazione di sacche di gas potenzialmente pericolosi al di sotto della soletta di copertura.

Gli esiti analitici, con particolare riferimento al parametro idrogeno, hanno evidenziato:

- ✓ Secondo il modello sperimentale già consolidato, l'aumento della concentrazione di gas con la profondità, con massimo in prossimità del punto di insufflaggio e minimo in prossimità della superficie ed una buona omogeneità nella distribuzione del gas in corrispondenza di tutti i punti di monitoraggio.
- ✓ Il monitoraggio effettuato in corrispondenza dei punti sub-slab ha evidenziato l'assenza di specifiche ed anomale concentrazioni di gas idrogeno, ovvero, ha escluso la formazione di sacche di accumulo o ristagno di idrogeno.

MATRICE TERRENO

Il "protocollo Golder" ha previsto il campionamento della **matrice terreno** ante-operam e post-operam con il duplice scopo di verificare l'effettiva riduzione del Cromo esavalente e valutare eventuali effetti sulla concentrazione e mobilitazione di altri metalli e parametri chimici.

- Relativamente al Cromo esavalente, il monitoraggio post-operam evidenzia la generale **diminuzione della concentrazione** nella matrice terreno rispetto ai valori ante operam con la sola eccezione della persistenza di un valore relativamente elevato nell'intervallo 2,0-3,0 m da p.c., che può essere ascritto a cause esogene occorse in fase di esecuzione del test.
In particolare, con l'eccezione del campione prelevato tra 2,0 e 3,0 m da p.c., la concentrazione di Cr VI post-operam presenta valori sempre **conformi ai limiti normativi di cui al D.lgs. 152/06, sia per il terreno insaturo che per l'orizzonte di oscillazione della falda** compreso tra 22,0 e 25,0 m da p.c.
Facendo riferimento agli obiettivi di bonifica di cui all'Analisi di rischio (Studio Tedesi, 2007), alle condizioni post-operam, si evidenzia la **conformità alle CSR per tutti i campioni analizzati**.
La **riduzione percentuale della concentrazione del parametro Cr VI**, espressa come rapporto tra la concentrazione rilevata ante-operam e post-operam, è compresa tra il **47% ed il 97% nel terreno insaturo** e tra il **74% ed il 79% nel terreno saturo** (si evidenzia la sottostima introdotta dall'utilizzo del valore limite di sensibilità per la graficizzazione dei valori inferiori a tale limite).
- la distribuzione del rapporto tra Cr tot/Cr VI con la profondità indica il grado di riduzione del Cromo esavalente indotto dal trattamento: come atteso, si osserva un **incremento nel tempo del**

rapporto Cr tot/ Cr VI, lungo tutta la verticale indagata con la sola eccezione del primo orizzonte (2,0-3,0m da p.c.).

- Gli esiti dei test di lisciviazione evidenziano la sostanziale **diminuzione della concentrazione di Cr VI nell'eluato**, che risulta inferiore alla sensibilità del metodo analitico utilizzato per tutti i campioni prelevati nell'orizzonte di oscillazione della falda (22,0-25,0 m da p.c.), con una riduzione pressoché totale rispetto ai valori ante-operam.
- Relativamente ai restanti parametri, non si evidenziano trasformazioni chimiche apprezzabili, con particolare riferimento alla variazione del grado di ossidazione dei metalli, tale da creare condizioni negative relativamente a mobilità e tossicità degli elementi.

MATRICE ACQUA DI FALDA

Il monitoraggio ha previsto il campionamento della **matrice acqua di falda**, condotto nelle fasi ante-operam, in operam e post-operam secondo le indicazioni e prescrizioni di campionamento di cui al "protocollo Golder", con il duplice scopo di verificare l'effettiva riduzione del Cromo esavalente e valutare eventuali effetti sulla concentrazione e mobilitazione di altri metalli e parametri chimici.

- Relativamente al Cromo esavalente, a fronte di una situazione ante-operam che mostra il superamento dei limiti normativi di cui al D.Lgs.152/06 in corrispondenza di tutti i piezometri con un apporto sostanziale di contaminante da parte dell'area di previsto trattamento (cfr.: monitoraggio nel mese di Aprile - primo mese di trattamento), il complesso delle analisi evidenzia a partire dal mese di maggio la **progressiva e costante diminuzione** della concentrazione di CrVI sino alla **conformità ai limiti normativi a partire dal mese di Ottobre**.
Nel periodo di conduzione del test si è osservato la **riduzione percentuale della concentrazione di Cr VI**, rispetto al valore di start-up pari a 3.008 µg/l (Pz2), già sostanziale dopo 30 giorni (-91,9%): **al termine del Test, la riduzione percentuale è risultata pari al 100%**;
- Il monitoraggio effettuato in corrispondenza della barriera idraulica presente a valle dell'area di test conferma il trend evolutivo desunto dai dati analitici ottenuti in corrispondenza del campo prove SAPIO evidenziando l'assoluta assenza di incrementi di concentrazione del parametro cromo esavalente correlabili ad eventuali effetti conseguenti al test in corso di esecuzione.
- Relativamente ai restanti parametri, non si evidenziano trasformazioni chimiche apprezzabili, con particolare riferimento alla variazione del grado di ossidazione dei metalli, tale da creare condizioni negative relativamente a mobilità e tossicità degli elementi.
- Il monitoraggio piezometrico evidenzia un'escursione stagionale della falda pari a circa 3,2 m con massimo in Agosto (21,07 m da p.c.) e minimo in Dicembre (24,20 m da p.c.), confermando di fatto l'orizzonte "22,0-25,0 m da p.c." quale "orizzonte di oscillazione della falda".

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Gli esiti del monitoraggio effettuato relativamente alle matrici terreno ed acqua di falda evidenziano senza alcuna incertezza l'**esito POSITIVO** del Test condotto con metodologia **Soilution** presso il sito "ex PM Galvanica" di Tezze sul Brenta (VI) finalizzato alla riduzione del Cromo esavalente presente nelle matrici terreno e falda, sia rispetto ai limiti di cui alla normativa vigente, sia agli obiettivi di cui al Progetto SAPIO che alle specifiche e prescrizioni formulate da Golder nelle citate Note Tecniche.

In particolare:

- è stata verificata la **corretta ed ubiquitaria diffusione dei gas insufflati** negli orizzonti del sottosuolo dell'area sottoposta a trattamento, a dimostrazione dell'**efficienza del sistema**;
- è stata **esclusa la formazione di sacche di gas potenzialmente pericoloso** al di sotto della soletta di copertura, a dimostrazione della **innocuità del metodo**;
- è stata ottenuta la **riduzione pressoché totale del Cromo esavalente nella matrice terreno** sia per gli orizzonti insaturi sia per l'orizzonte di oscillazione della falda (22,0-25,0 m da p.c.), a dimostrazione dell'**efficacia del metodo** ulteriormente confermata da:
 - test di lisciviazione, che evidenziano la **riduzione pressoché totale della concentrazione di Cr VI nell'eluato**;

- **riduzione pressoché totale del Cromo esavalente in falda**, con percentuale di riduzione prossima al 100% al termine del periodo di test;
- sono stati raggiunti tutti gli obiettivi di bonifica di cui all'Analisi di rischio in quanto **il parametro Cr VI risulta sempre inferiore alle CSR per i terreni e le acque di falda**;
- è stata verificata l'**assenza di mobilizzazione di ulteriori contaminanti dalla matrice solida** in falda;
- **non è stata osservata la presenza di sottoprodotti di reazione** nelle matrici ambientali (si ricorda che i reagenti utilizzati (azoto e idrogeno) sono sostanze naturalmente presenti nelle matrici ambientali).

Infine, la conduzione del test non ha determinato modifiche alle condizioni di sicurezza del sito e si è rivelata assolutamente **non invasiva** (campo prove e ambiente circostante) in quanto:

- In fase operativa le uniche attività sono consistite nelle operazioni di carico/scarico dei gas ed i controlli di routine degli impianti
- alla fine del trattamento l'area è stata riconsegnata sgombra e senza modificazioni significative dei luoghi.

IN CONCLUSIONE, È POSSIBILE AFFERMARE CHE I RISULTATI CONSEGUITI, COSÌ COME ESPOSTI NEL PRESENTE DOCUMENTO, EVIDENZIANO L'IDONEITÀ, L'EFFICACIA E LA CONSEQUENTE APPLICABILITÀ FULL SCALE AL SITO "EX PM GALVANICA" DELLA METODOLOGIA DI BONIFICA Soilution PER LA STABILIZZAZIONE GEOCHIMICA DEL CROMO ATTRAVERSO LA RIDUZIONE DEL CROMO VI A CROMO III.



Soil Water S.r.l.

SAPIO
Produzione Idrogeno Ossigeno S.r.l.
Il Direttore Business: Life Liquid TM
Davide Zecchini
14/3/2014

