



ALLEGATO 13

RELAZIONE ILLUSTRATIVA DEI TEST CON TRACCIANTI EFFETTUATI PRESSO IL SITO IMPIANTISTICO DI SPIRITU SANTU, OLBIA (OT)

IN COLLABORAZIONE CON



S G M Ingegneria S.r.l.



S.G.M. Geologia e Ambiente

S.r.l.

Via M. Majocchi Plattis, 21
44124 FERRARA

internet: www.sgm-ambiente.it

e-mail: info@sgm-ambiente.it

Tel 0532/977899

Fax 0532/906907

C.F. e Partita Iva 01299560381

Indice della relazione

1	Premessa	2
2	Elaborati tecnici di riferimento	2
3	Modalità esecutive e cronologia dei test con traccianti	2
3.1	Campo prova e tipologia dei test	2
3.2	Caratterizzazione del bianco ambientale	4
3.3	Immissione dei traccianti	4
3.3.1	Caratteristiche dei traccianti	4
3.3.2	Fluoresceina sodica	5
3.3.3	Amidorodamina-G	6
3.3.4	Tinopal CBS-X	7
3.3.5	Sintesi: punti, masse e volumi di immissione	9
3.4	Monitoraggio dei traccianti	10
3.4.1	Monitoraggio in continuo con spettrofluorimetri da campo	10
3.4.2	Monitoraggio passivo con fluorocaptori	10
3.5	Attività di monitoraggio piezometrico	12
3.6	Cronologia delle attività	12
3.7	Risultati del test	13
3.7.1	Monitoraggio piezometrico in continuo	13
3.7.2	Monitoraggio fluorimetrico	14
3.7.3	Analisi sui fluorocaptori	21
3.7.4	Analisi sui campioni di acqua	21
4	Conclusioni	25
5	Bibliografia	27



S.G.M. Geologia e Ambiente

S.r.l.

Via M. Majocchi Plattis, 21
44124 FERRARA

internet: www.sgm-ambiente.it

e-mail: info@sgm-ambiente.it

Tel 0532/977899

Fax 0532/906907

C.F. e Partita Iva 01299560381

1 Premessa

La presente relazione illustra e dettaglia i risultati dei TEST CON TRACCIANTI svoltisi presso il sito impiantistico di Spiritu Santu (OT). Essa integra i risultati già illustrati alla precedente relazione dello stato di avanzamento a 3 mesi da inizio prove, completandoli con i risultati fino al termine della prova (5 mesi dall'immissione dei traccianti).

Si ricorda che la durata del monitoraggio sul campo era definita dal Capitolato Tecnico di Gara: 3 mesi, estendibili a massimo 5 mesi in assenza di risultati.

I test con traccianti sono stati avviati in data 22/05/17. In assenza di esiti positivi al termine dei 3 mesi, il monitoraggio sul campo è terminato alla fine dei 5 mesi, in data 27/10/2017.

I test sono stati formalmente conclusi al termine delle attività analitiche di laboratorio (Report del 15/12/17 dell'Università di Modena e Reggio Emilia, allegato alla presente).

2 Elaborati tecnici di riferimento

- ✓ "Sito impiantistico località Spiritu Santu (OT) - TEST CON TRACCIANTI Progettazione esecutiva" relazione tecnica del 18/04/17
- ✓ Capitolato Tecnico delle Indagini previste dal Piano Operativo del Piano di Caratterizzazione cap. 7 "TEST CON TRACCIANTI - CARATTERISTICHE"
- ✓ Tavola 3 del sopra citato documento "Prove con traccianti"
- ✓ Planimetria MISE Discarica Comunale.
- ✓ Piano di Caratterizzazione del sito impiantistico di Spiritu Santu – Relazione Tecnica. Dicembre 2014.
- ✓ Planimetria globale gestione biogas da discarica. Scala 1:1000. Elaborato RG.PL.09 del Progetto Definitivo "Adeguamento funzionale dell'installazione I.P.P.C. consortile sita in località "Spiritu Santu" Olbia. Luglio 2016.
- ✓ Planimetria globale gestione percolato ed acque di processo. Scala 1:1000. Elaborato RG.PL.10 del Progetto Definitivo "Adeguamento funzionale dell'installazione I.P.P.C. consortile sita in località "Spiritu Santu" Olbia. Luglio 2016.

3 Modalità esecutive e cronologia dei test con traccianti

3.1 Campo prova e tipologia dei test

Il campo prova si trova presso il sito impiantistico di "Spiritu Santu" Olbia, che comprende le aree di pertinenza del complesso IPPC per il trattamento dei RSU/RS gestito dal CIPNES Gallura, nonché quelle di pertinenza della discarica dismessa del Comune di Olbia.

Il campo prova è rappresentato nella Planimetria "Test con traccianti" (estratto da Tavola 3 – Capitolato Tecnico delle Indagini previste dal Piano Operativo del Piano di Caratterizzazione), di cui si riporta un estratto nella planimetria di Figura 1.

- 1) Il primo test ha previsto l'immissione di 2 traccianti, diversi tra loro (Fluoresceina Sodica e Amidorodamina-G), in pozzi percolato e pozzi biogas all'interno delle due discariche. Per il monitoraggio 2 piezometri (S29 e POZZO SISTEMA MISE, indicati in Tavola 3 e Figura 1) sono stati attrezzati con spettrofluorimetri da foro per il rilevamento in continuo dell'eventuale presenza dei traccianti per l'intera durata del test. Contemporaneamente è stata eseguita la verifica in passivo del transito dei traccianti in diversi piezometri, una sorgente ed un pozzo privato disposti perimetralmente ai due corpi discarica.
- 2) Il secondo test, da considerarsi un'estensione del primo, ha previsto la verifica del flusso idrico nell'acquifero, con immissione di un terzo tracciante (diverso dai due precedenti, il Tinopal) in posizione esterna alle discariche, direttamente all'interno di un pozzo piezometrico (S27) ubicato a monte flusso delle stesse. Il secondo test è stato avviato in contemporanea al primo e ha utilizzato gli stessi punti di monitoraggio.

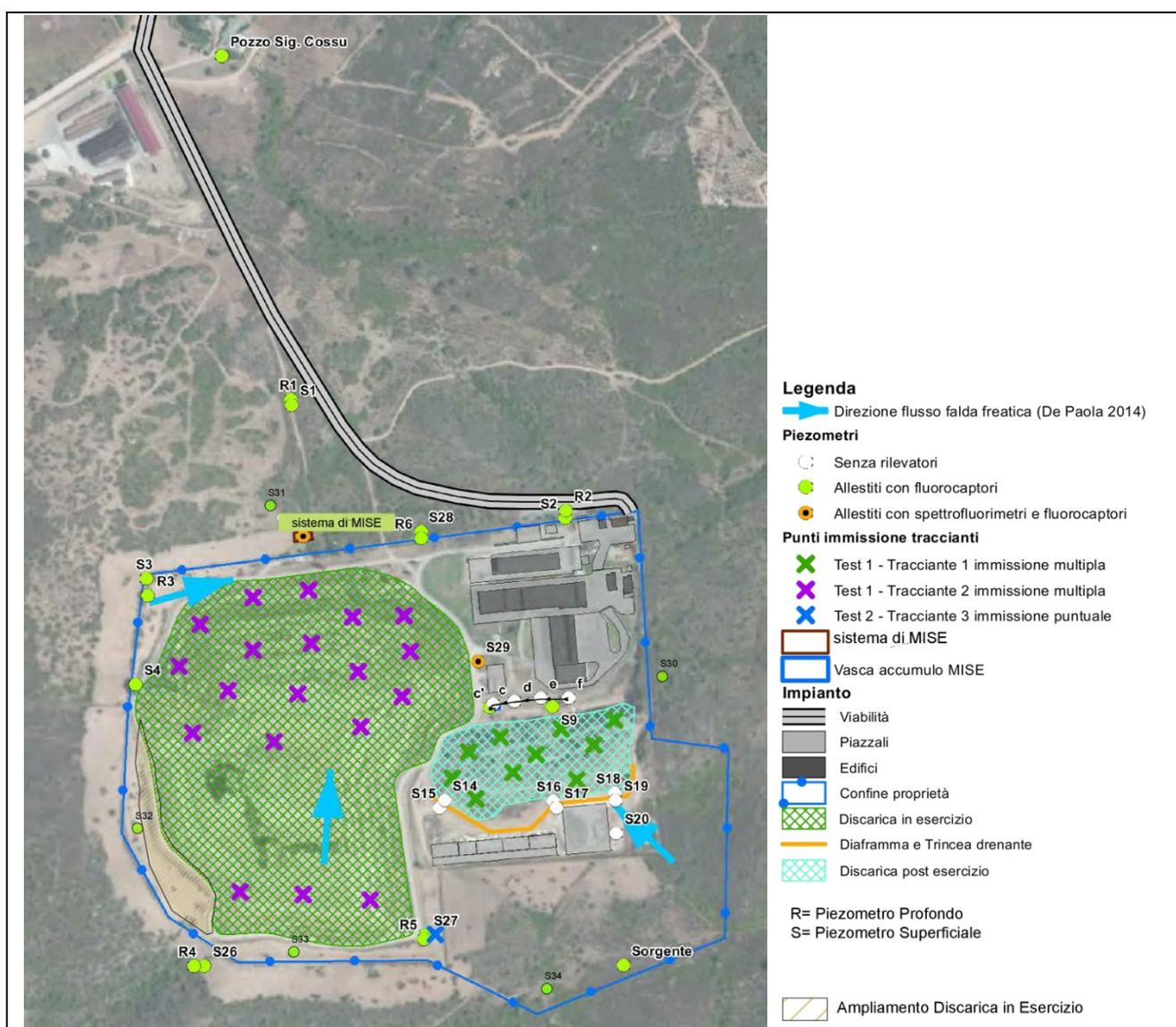


Figura 1. Planimetria "Prove con traccianti" (estratto da Tavola 3 – Capitolato Tecnico delle Indagini previste dal Piano Operativo del Piano di Caratterizzazione).



S.G.M. Geologia e Ambiente

S.r.l.

Via M. Majocchi Plattis, 21
44124 FERRARA

internet: www.sgm-ambiente.it

e-mail: info@sgm-ambiente.it

Tel 0532/977899

Fax 0532/906907

C.F. e Partita Iva 01299560381

3.2 Caratterizzazione del bianco ambientale

Una prova di tracciamento con traccianti fluorescenti necessita della caratterizzazione del bianco ambientale, poiché la tecnica analitica per spettrofluorimetria è una tecnica indiretta che ricava dalla rilevazione di un segnale di fluorescenza la concentrazione delle sostanze.

In data 22/05/2017 è stata avviata la fase di caratterizzazione del bianco ambientale, ossia di monitoraggio preliminare all'immissione dei traccianti. Nello specifico essa ha previsto:

- Monitoraggio in continuo con i 2 spettrofluorimetri da campo installati al piezometro S27 ed al POZZO SISTEMA MISE;
- Installazione di una batteria di fluorocettori su tutti i punti di monitoraggio previsti per il test (di cui al paragrafo "Monitoraggio passivo con fluorocettori", pag. 10): la serie di fluorocettori del bianco ambientale è stata immersa per un totale di 7 giorni, dal 22/05/17 al loro successivo prelievo in data 29/05/17 (prima dell'immissione dei traccianti);
- Contestuale prelievo di campioni d'acqua su tutti i punti di monitoraggio, eseguito in data 22/05/17.

Per eliminare ogni rischio di contaminazione dei campioni di bianco, i traccianti sono stati recapitati presso il sito successivamente ai campionamenti del bianco, precisamente il giorno 30/05/17 e sono stati immessi nei giorni 30 e 31/05/2017.

3.3 Immissione dei traccianti

3.3.1 Caratteristiche dei traccianti

Il tracciamento delle acque sotterranee permette di "seguire il flusso dell'acqua" e, di conseguenza, identificare le connessioni tra diversi punti dello stesso acquifero e determinare le velocità reali del flusso. Una prova di tracciamento usa un tracciante artificiale per seguire il flusso dell'acqua (Käss, 1998).

Tra i traccianti artificiali più usati troviamo la famiglia dei traccianti fluorescenti; che sono sostanze organiche artificiali contenenti un gruppo aromatico che determina la fluorescenza (proprietà di ri-emettere un fotone dopo avere assorbito luce visibile o ultravioletta). Essi, rispetto ad altri tipi di traccianti (ad esempio quelli salini) hanno diversi vantaggi: bassissimo limite di rilevabilità analitica (fino a 10^{-3} µg/L in condizioni ottimali), che implica una minore massa richiesta all'immissione; medio-elevata solubilità in acqua; ridotta densità che non altera la densità dell'acqua; metodologie analitiche semplici e rapide; costi relativamente bassi; possibilità di effettuare iniezioni multiple di traccianti analiticamente separabili (poiché emettono fluorescenza su diversi intervalli di lunghezza d'onda); atossicità (Käss, 1998; Behrens et al., 2001; Benischke et al., 2007; Leibundgut et al., 2009).

I traccianti da utilizzare erano stati definiti già nel Piano di Caratterizzazione e nel Capitolato Tecnico di gara. Le loro caratteristiche tecniche sono riassunte in Tabella 1. Le Schede Tecniche di tutte le sostanze sono riportate nell' Allegato B della Progettazione esecutiva.

Tutte le 3 sostanze sono assenti nelle acque in condizioni naturali, rilevabili a bassa concentrazione, a bassa degradabilità in assenza di luce e a ridotto assorbimento da parte del mezzo poroso. I suddetti traccianti non sono tossici né per l'uomo né per l'ambiente e sono considerati ecotossicologicamente innocui (Behrens et al., 2001).



S.G.M. Geologia e Ambiente

S.r.l.

Via M. Majocchi Plattis, 21
44124 FERRARA

internet: www.sgm-ambiente.it

e-mail: info@sgm-ambiente.it

Tel 0532/977899

Fax 0532/906907

C.F. e Partita Iva 01299560381

Nome	Amidorodamina-G	Fluoresceina sodica	Tinopal CBS-X
Sinonimo	Sulforodamina-G	Uranina	Tinopal
Color Index (C.I.)	CI Acid Red 50	CI Acid Yellow 73	Fluorescent Brightener 351
N° di costituzione	45220	4535	-
CAS number	5873-16-5	518-47-8	27344-41-8
Formula chimica	C ₂₅ H ₂₅ N ₂ NaO ₇ S ₂	C ₂₀ H ₁₀ O ₅ Na ₂	C ₂₈ H ₂₀ Na ₂ O ₆ S ₂
Genotossicità	negativa	negativa	negativa
Ecotossicità	negativa	negativa	negativa
Solubilità in acqua a 20°C	Bassa 35 g/l	Buona 600 g/l	Bassa 25 g/l
Limite di rilevabilità in acqua*	5 * 10 ⁻³ µg/L	10 ⁻³ µg/L	10 ⁻¹ µg/L
Lunghezza d'onda di eccitazione	535 nm	492 nm	355 nm
Lunghezza d'onda di emissione	550 nm	512 nm	429 nm
Limitazioni		Perde fluorescenza in condizioni acide (pH<7)	Forte interferenza con DOC**
<i>* in condizioni ottimali (acque pulite e strumentazione di laboratorio)</i>			
<i>**DOC = Dissolved Organic Carbon</i>			

Tabella 1. Caratteristiche tecniche dei traccianti utilizzati per i test.

3.3.2 Fluoresceina sodica

La Fluoresceina sodica è stata acquistata già disciolta in soluzione acquosa alla concentrazione di 300 g/L, suddivisa in n. 10 aliquote da 0,5 L (contenenti cadauna una massa di 150 grammi).

Essa è stata immessa per caduta in corrispondenza della sommità della discarica di competenza CIPNES, seguita da "pistonaggio" con acqua potabile immessa a caduta (10 L per ciascun punto), sui seguenti punti:

- Pozzo percolato n.24 (zona sommitale, verso lato ovest)
- Pozzo percolato n.23 (zona sommitale, verso lato sud)
- Pozzo percolato n.22 (zona sommitale, verso lato nord)
- Pozzo biogas SE18 (lato sud-est)
- Pozzo biogas SE19 (lato sud-est)
- Pozzo biogas SE20 (lato sud-est)
- Pozzo percolato n.9
- Pozzo percolato n.10
- Pozzo percolato n.11
- Pozzo percolato n.12

Diversamente da quanto previsto nella Progettazione Esecutiva, il tracciante non è stato immesso presso i punti Pozzo biogas NE15 (lato nord-est) e Pozzo biogas NE18 (lato nord-est) su indicazione della dirigenza CIPNES.

Le immissioni sono state eseguite nella mattina del 30/05/2017 tra le ore 8:30 e le ore 10:30, in presenza ed assistenza del personale tecnico CIPNES.

È stato immesso un quantitativo totale di 1,5 kg di Fluoresceina sodica.

In Figura 2 è mostrata un'immagine fotografica dell'immissione del tracciante in un pozzo biogas della discarica consortile: come si può vedere prima dell'immissione è stato applicato un telo in PVC finalizzato a proteggere la testa del pozzo da eventuali dispersioni di tracciante ed evitare quindi problemi di contaminazione della superficie e del bocca pozzo.



Figura 2. Immissione di un'aliquota di Fluoresceina sodica presso un pozzo biogas della discarica consortile.

3.3.3 Amidorodamina-G

La Amidorodamina-G è stata acquistata in polvere ed è stata disciolta in situ, all'interno dei magazzini dell'impianto, utilizzando tutte le precauzioni utili ad evitare possibili contaminazioni incrociate.

La massa di 5 kg è stata suddivisa in n°10 aliquote da 500 grammi cadauna, diluite all'interno di taniche del volume di 15 L (concentrazione di 33,3 gr/L).

Le aliquote sono state immesse in corrispondenza della sommità della ex discarica comunale, seguite da "pistonaggio" con acqua potabile immessa a caduta (30 L per ciascun punto):

- g – Pozzo 4"
- h – Pozzo 4"
- i – Pozzo 4"
- j – Pozzo 4"
- k – Pozzo 4"
- l – Pozzo 4"
- m – Pozzo 4"
- n – Pozzo 4"
- o – Pozzo 4".

Le immissioni sono state eseguite nel pomeriggio del 30/05/2017 tra le ore 14:30 e le ore 16:30, in presenza ed assistenza del personale tecnico CIPNES.

È stato immesso un quantitativo totale di 5 kg di Amidorodamina-G.

In Figura 3 è mostrata un'immagine fotografica dell'immissione del tracciante in un pozzo biogas della discarica comunale: come si può vedere prima dell'immissione è stato applicato un telo in PVC finalizzato a proteggere la testa del pozzo da eventuali dispersioni di tracciante ed evitare quindi problemi di contaminazione della superficie e del bocca pozzo.



Figura 3. Immissione di un'aliquota di Amidorodamina-G presso un pozzo biogas della discarica comunale.

3.3.4 Tinopal CBS-X

Il Tinopal CBS-X è stato acquistato in polvere ed è stato disciolto in situ; per la sua ridotta solubilità in acqua, e per motivazioni logistiche legate al trasporto della soluzione acquosa fino al piezometro S27, esso è stato preparato in due fasi, utilizzando tutte le precauzioni utili ad evitare possibili contaminazioni incrociate: è stata effettuata una pre-diluizione all'interno dei magazzini dell'impianto; la diluizione effettiva è stata eseguita nei pressi del piezometro S27. Sono stati utilizzati fusti dal volume di 60 L, riempiti successivamente, per un totale di circa 300 L di volume immesso con una massa di 4 kg disciolta (concentrazione di 20 gr/L).

L'immissione è stata eseguita nella giornata del 31/05/17 tra le ore 11:00 e le ore 16:00.

È stata utilizzata una pompa a basso flusso per travasare il tracciante dai fusti al piezometro.

Poiché al termine dell'immissione la colonna piezometro risultava completamente piena d'acqua e mostrava velocità di assorbimento molto ridotte (il livello calava di pochi centimetri ogni ora), non è stato possibile eseguire il lavaggio con acqua pulita. L'innalzamento del livello piezometrico in foro ha comunque garantito l'entrata del tracciante al mezzo roccioso, seppure molto lenta.

In Figura 4 e Figura 5 due immagini fotografiche mostrano l'allestimento del piezometro preliminare all'iniezione e le operazioni durante l'iniezione del tracciante.

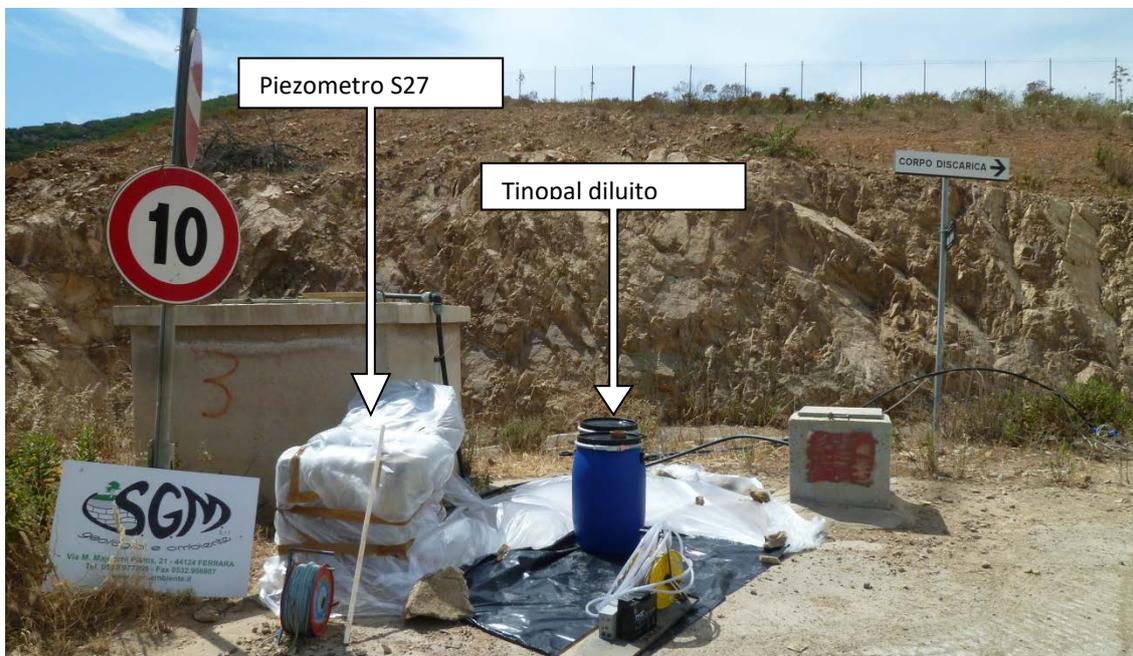


Figura 4. Allestimento del piezometro S27 per l'immissione del Tinopal CBS-X.



S.G.M. Geologia e Ambiente

S.r.l.

Via M. Majocchi Plattis, 21
44124 FERRARA

internet: www.sgm-ambiente.it

e-mail: info@sgm-ambiente.it

Tel 0532/977899

Fax 0532/906907

C.F. e Partita Iva 01299560381

3.3.5 Sintesi: punti, masse e volumi di immissione

Tutti i punti interessati dalle immissioni sono sintetizzati in Tabella 2 e rappresentati sulle planimetrie in Allegato A, della Progettazione Esecutiva.

Le masse complessivamente immesse sono:

- 1,5 kg di Fluoresceina sodica;
- 5 kg di Amidorodamina-G;
- 4 kg di Tinopal CBS-X.

Il quantitativo di Tinopal CBS-X effettivamente immesso è inferiore al quantitativo previsto (5 kg), a causa del lento assorbimento della soluzione da parte del piezometro S27.

I volumi di acqua utilizzati per le immissioni dei traccianti in soluzioni acquose e per i successivi lavaggi con acqua pulita sono sintetizzati in Tabella 3.

Tutte le immissioni sono state eseguite da personale specializzato dotato degli opportuni dispositivi di protezione individuale (DPI).

Tracciante	Pozzo Sigla identificativa e posizione	Profondità pozzo (m da p.c.)
1 – Amidorodamina-G	g – Pozzo 4" con elettropompa sommersa (fianco)	Fino a fondo scarica
	h – Pozzo 4" con elettropompa sommersa (fianco)	Fino a fondo scarica
	i – Pozzo 4" con elettropompa sommersa (sommità scarica)	Fino a fondo scarica
	j – Pozzo 4" con elettropompa sommersa (sommità scarica)	Fino a fondo scarica
	k – Pozzo 4" con elettropompa sommersa (sommità scarica)	Fino a fondo scarica
	l – Pozzo 4" con elettropompa sommersa (sommità scarica)	Fino a fondo scarica
	m – Pozzo 4" con elettropompa sommersa (fianco)	Fino a fondo scarica
	n – Pozzo 4" con elettropompa sommersa (fianco)	Fino a fondo scarica
	o – Pozzo 4" con elettropompa sommersa (fianco)	Fino a fondo scarica
2 – Fluoresceina sodica	Pozzo percolato n.24 (zona sommitale, verso lato ovest)	~30
	Pozzo percolato n.23 (zona sommitale, verso lato sud)	~30
	Pozzo percolato n.22 (zona sommitale, verso lato nord)	~30
	Pozzo percolato + biogas n.14	
	Pozzo biogas SE18 (lato sud-est)	
	Pozzo biogas SE19 (lato sud-est)	~22,5
	Pozzo biogas SE20 (lato sud-est)	~22,5
	Pozzo percolato n.9	
	Pozzo percolato n.10	
	Pozzo percolato n.11	
Pozzo percolato n.12		
3 - Tinopal	Piezometro S27	10 (filtri da 5 a 10 m)

Tabella 2. Punti di immissione dei traccianti.



S.G.M. Geologia e Ambiente

S.r.l.

Via M. Majocchi Plattis, 21
44124 FERRARA

internet: www.sgm-ambiente.it

e-mail: info@sgm-ambiente.it

Tel 0532/977899

Fax 0532/906907

C.F. e Partita Iva 01299560381

Nome	Amidorodamina-G	Fluoresceina sodica	Tinopal CBS-X
Immissione presso	Discarica Comune	Discarica CIPNES	Piezometro S27
Massa (kg)	5	1,5	4
Volume di soluzione (L)	150	5	300
C₀ (g/L)	33,3	300	13,3
Numero punti di immissione	9	10	1
Volume di "lavaggio" con acqua pulita (L) per ciascun punto	35	10	-

Tabella 3. Masse e volumi di immissione dei traccianti in soluzione acquosa.

3.4 Monitoraggio dei traccianti

3.4.1 Monitoraggio in continuo con spettrofluorimetri da campo

Per il monitoraggio dell'eventuale transito dei traccianti sono stati installati n. 2 spettrofluorimetri da campo (Scheda Tecnica in Allegato C della Progettazione Esecutiva) all'interno di:

- Piezometro S29, ubicato a valle flusso della discarica comunale: lo strumento è stato installato alla profondità di 7,5 m da b.f., in corrispondenza della porzione centrale del tratto filtrato (tra 5 e 10 m);
- POZZO SISTEMA MISE della discarica CIPNES: alla profondità di circa 2,7 m da b.f. (il pozzo ha profondità di 3,3 m da b.f.)

Ciascun spettrofluorimetro rileva su 3 diverse lampade i segnali di fluorescenza corrispondenti ai 3 traccianti immessi; le misure sono state eseguite con una frequenza di acquisizione pari a 5 minuti.

Ciascuno strumento è collegato ad un data-logger dedicato che registra i dati all'interno di una memoria fisica, dotato di un sistema di trasmissione GSM dei dati, per il controllo in remoto delle acquisizioni e del corretto funzionamento.

I sopralluoghi periodici al sito hanno permesso la manutenzione e pulizia degli strumenti.

3.4.2 Monitoraggio passivo con fluorocaptorii

I fluorocaptorii (o fluocaptorii) sono campionatori passivi costituiti da carbone attivo granulare (identico a quello dei filtri di depurazione) con elevato potere di adsorbimento sui traccianti fluorescenti, oltre che su numerose altre sostanze.

Come previsto da Capitolato, il monitoraggio strumentale è stato integrato e supportato dal monitoraggio passivo con fluorocaptorii presso 20 punti di monitoraggio. Tali punti sono rappresentati da 6 piezometri profondi, 12 piezometri superficiali, 1 pozzo privato ed 1 sorgente. Essi sono elencati in Tabella 4. Rispetto ai punti previsti da Capitolato sono state eseguite le seguenti modifiche:

- il piezometro S33, privo d'acqua sin dal 22/5/17 e per tutta la durata del test, è stato sostituito dal piezometro S34;
- il campionamento è stato integrato con i punti S29 e POZZO MISE, per poter eventualmente incrociare i risultati di questa tecnica con quelli del monitoraggio fluorimetrico in continuo.

Il 22/5/17 è stata installata la prima batteria di fluorocaptorii, cosiddetta di "BIANCO", per il monitoraggio del bianco ambientale preliminare all'immissione dei traccianti. I fluorocaptorii sono stati ancorati ad appositi cordini e calati all'interno dei punti di monitoraggio, posizionati al di sotto della tavola d'acqua.



S.G.M. Geologia e Ambiente

S.r.l.

Via M. Majocchi Plattis, 21
44124 FERRARA

internet: www.sgm-ambiente.it

e-mail: info@sgm-ambiente.it

Tel 0532/977899

Fax 0532/906907

C.F. e Partita Iva 01299560381

Dal 29/5 in avanti, ad ogni sopralluogo veniva prelevata la batteria di fluorocaptori e ne veniva inserita una nuova a sostituzione della precedente, come previsto da Capitolato: questo consente di discretizzare temporalmente l'eventuale arrivo dei traccianti.

Ad ogni sopralluogo i fluorocaptori venivano prelevati, raccolti all'interno di carta alluminio per la loro conservazione al riparo dalla luce ed opportunamente catalogati all'interno di sacchetti di plastica etichettati (nome punto di prelievo, data di prelievo, note eventuali). Successivamente al prelievo, nuovi fluorocaptori venivano posizionati in sostituzione ai precedenti. Dopo il prelievo i fluorocaptori venivano conservati al fresco ed al riparo dalla luce e quindi conferiti al laboratorio.

La procedura analitica prevede che i carboni siano estratti dai fluorocaptori e sottoposti ad una procedura di estrazione delle sostanze con apposita soluzione eluente; l'analisi spettrofluorimetrica sull'eluato estratto dai carboni permette di ricavare la presenza o assenza del tracciante, fornendo un esito di tipo qualitativo (positivo/negativo).

In assenza di laboratori commerciali attrezzati per questa tipologia di analisi, è stato incaricato il laboratorio del Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche dell'Università di Modena e Reggio Emilia.

ID punto	Tipo punto	Profondità pozzo (m da p.c.)	Posizione fenestratura (m)	Note
R1	Piezometro profondo	90	75 ÷ 85	
R2	Piezometro profondo	80	70 ÷ 79	
R3	Piezometro profondo	80	69 ÷ 77	
R4	Piezometro profondo	97	31,5 ÷ 97	
R5	Piezometro profondo	100	72 ÷ 81	
R6	Piezometro profondo	80	35 ÷ 80	
c'	Piezometro superficiale	10		
S9	Pozzetto superficiale	3		
S1	Piezometro superficiale	5	2 ÷ 5	
S2	Piezometro superficiale	7	3 ÷ 7	
S3	Piezometro superficiale	10	5 ÷ 10	
S4	Piezometro superficiale	10	5 ÷ 10	
S26	Piezometro superficiale	7	2 ÷ 7	
S28	Piezometro superficiale	10	0, 5 ÷ 10	
S30	Piezometro superficiale	10	0, 5 ÷ 10	
S31	Piezometro superficiale	10	0, 5 ÷ 10	
S32	Piezometro superficiale	10	0, 5 ÷ 10	
S33	Piezometro superficiale	10	0, 5 ÷ 10	Piezometro sempre privo d'acqua, è stato sostituito con S34
S34	Piezometro superficiale	10	0, 5 ÷ 10	
Pozzo Sig. Cossu	Pozzo privato	75		
Sorgente	Sorgente (convogliata in pozzo Ø200, prof. 3 m)	3		
Pozzo MISE	Pozzetto	3,3	0 ÷ 3,3	
S29	Piezometro superficiale	10	0, 5 ÷ 10	

Tabella 4. Punti di monitoraggio dei traccianti con fluorocaptori.



S.G.M. Geologia e Ambiente

S.r.l.

Via M. Majocchi Plattis, 21
44124 FERRARA

internet: www.sgm-ambiente.it

e-mail: info@sgm-ambiente.it

Tel 0532/977899

Fax 0532/906907

C.F. e Partita Iva 01299560381

3.5 Attività di monitoraggio piezometrico

Per tutta la durata dei test sono state monitorate le condizioni al contorno del sistema attraverso una piccola rete di monitoraggio piezometrico in continuo sul sito, implementata in data 22/05/17 e costituita da n. 1 sensore di misura della pressione atmosferica e da n. 3 sensori di livello (trasduttori di pressione di tipo assoluto, ossia da compensare sulla pressione atmosferica) ubicati presso:

- Piezometro di monitoraggio S29;
- POZZO SISTEMA MISE della discarica CIPNES;
- Piezometro S34 a monte della discarica (un punto ben rappresentativo delle condizioni piezometriche a monte idrogeologico dell'impianto): si è ritenuto inopportuno installare questo sensore all'interno del piezometro S27 poi destinato all'immissione del Tinopal, per evitare l'interferenza piezometrica causata dall'immissione di un significativo volume di soluzione.

Le Schede Tecniche dei sensori utilizzati sono riportate nell' Allegato D della Progettazione Esecutiva.

Durante i sopralluoghi al sito sono state eseguite misure di livello piezometrico con freatimetro manuale per il controllo delle serie dati acquisite, oltre ad operazioni di manutenzione e pulizia sui sensori installati.

3.6 Cronologia delle attività

In Tabella 5 sono sintetizzate tutte le attività svolte.

Sopralluogo n.	Attività svolte o previste	Note	Date
1	Installazione della rete di monitoraggio: 2 spettrofluorimetri, rete di monitoraggio piezometrico. Rilievo piezometrico. Installazione fluorocaptori e prelievo campioni d'acqua per la caratterizzazione del bianco ambientale.	Almeno 7 giorni prima dell'immissione dei traccianti.	22 e 23/5/17
2	Sostituzione fluorocaptori. Scarico dati agli spettrofluorimetri. Immissione dei traccianti Fluoresceina Sodica e Sulforhodamina-G Immissione del tracciante Tinopal CBS-X		29/5/17 30/5/17 31/5/17
3	Sostituzione fluorocaptori. Prelievo campioni d'acqua. Scarico dati e manutenzione: spettrofluorimetri e rete di monitoraggio piezometrico.		20/06/17
4	Sostituzione fluorocaptori. Prelievo campioni d'acqua. Scarico dati e manutenzione: spettrofluorimetri e rete di monitoraggio piezometrico.		11 e 12/07/17
5	Sostituzione fluorocaptori. Prelievo campioni d'acqua. Scarico dati e manutenzione: spettrofluorimetri e rete di monitoraggio piezometrico.		02/08/17
6	Sostituzione fluorocaptori. Prelievo campioni d'acqua. Scarico dati e manutenzione: spettrofluorimetri e rete di monitoraggio piezometrico.	3 mesi da inizio test.	29/08/17
7	Sostituzione fluorocaptori. Prelievo campioni d'acqua. Scarico dati e manutenzione: spettrofluorimetri e rete di monitoraggio piezometrico.		28/09/17
8	Sostituzione fluorocaptori. Prelievo campioni d'acqua. Scarico dati e manutenzione: spettrofluorimetri e rete di monitoraggio piezometrico. CHIUSURA PROVA.	5 mesi da inizio test.	27/10/17

Tabella 5. Cronologia delle attività, suddivise per sopralluoghi al sito.

3.7 Risultati del test

3.7.1 Monitoraggio piezometrico in continuo

Il monitoraggio piezometrico in continuo ha permesso di ricostruire l'andamento dei livelli piezometrici in funzione del tempo: in Figura 6 è riportato il grafico delle soggiacenze ai punti S34, S29 e POZZO SISTEMA MISE.

I dati evidenziano un trend generalizzato di diminuzione dei livelli piezometrici, in accordo all'assenza di precipitazioni meteoriche sull'intero periodo di monitoraggio: tale trend si osserva sia al piezometro S29 (a valle della discarica comunale), che al piezometro S34 (a monte idrogeologico dell'impianto); quest'ultimo presenta una pendenza maggiore del precedente, mostrando un abbassamento superiore ad 1,5 m sull'intero periodo di monitoraggio.

Il livello nel POZZO MISE, invece, è regimato artificialmente da una pompa sommersa installata al suo interno: trattandosi di pompa autoadescante con galleggiante, il livello oscilla con frequenza regolare (circa 9 inneschi della pompa ogni 24 ore, circa un innesco ogni 2,66 ore) su una fascia di ampiezza pari a circa 30 cm, come si osserva molto bene dal grafico di Figura 6 e Figura 7.

Nel mese di luglio si osservano alcune irregolarità rispetto al trend, probabilmente imputabili ad interventi tecnici realizzati sul pozzo o sulla pompa.

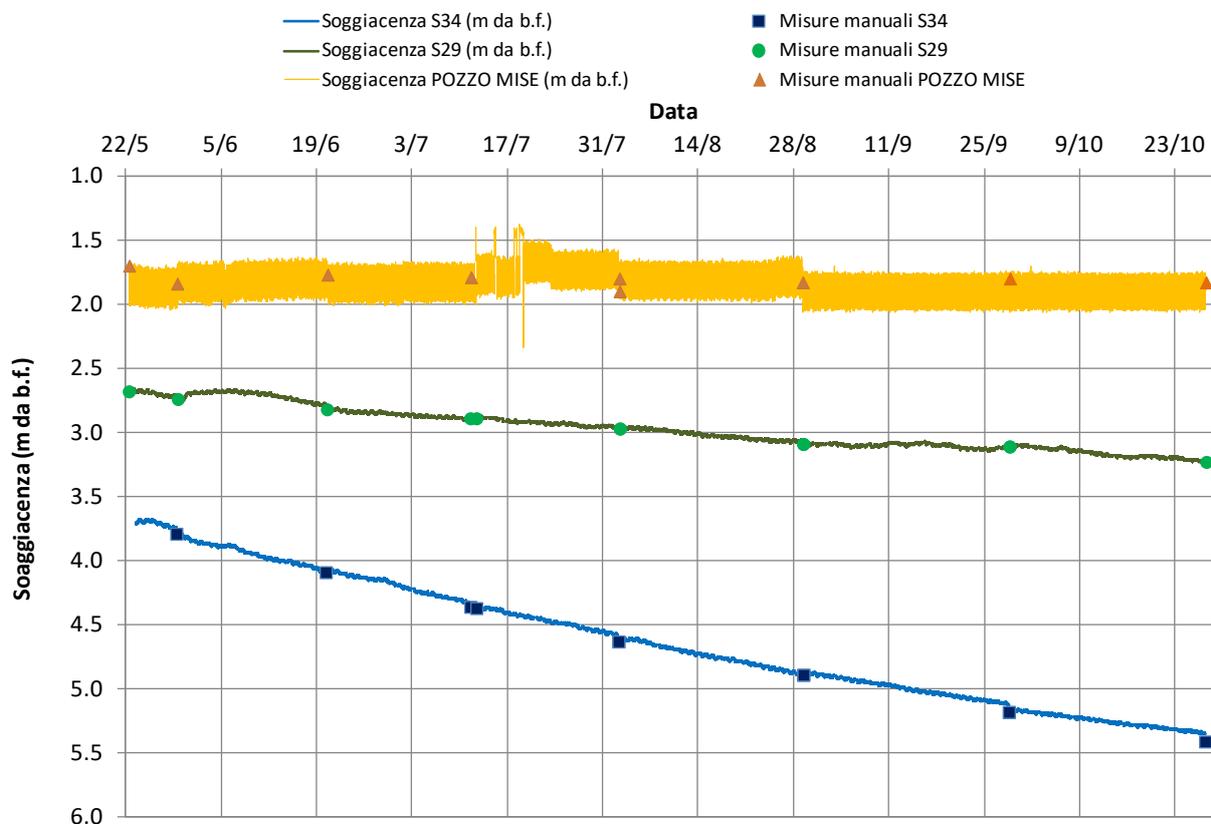


Figura 5. Monitoraggio piezometrico: soggiacenza in funzione del tempo ai 3 punti di monitoraggio in continuo.

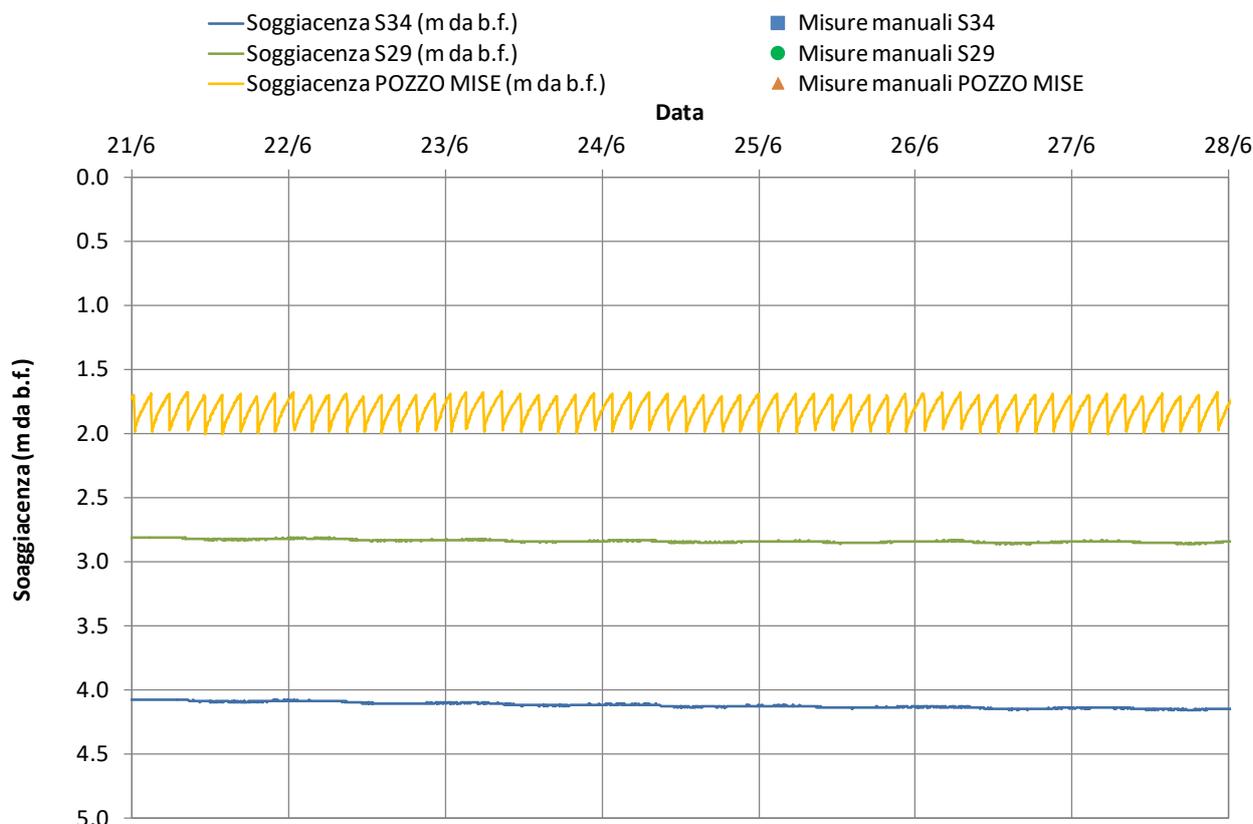


Figura 6. Monitoraggio piezometrico: soggiacenza in funzione del tempo ai 3 punti di monitoraggio in continuo, zoom sull'intervallo 21-28/6 per visualizzare le oscillazioni regolari di livello al POZZO MISE.

3.7.2 Monitoraggio fluorimetrico

I due strumenti installati al piezometro S29 ed al POZZO MISE hanno rilevato in continuo, con frequenza di acquisizione di 5 minuti, e registrato su data-logger i segnali di fluorescenza sulle lunghezze d'onda caratteristiche dei 3 traccianti utilizzati e della torbidità, in quanto dotati di 4 lampade che lavorano su lunghezze d'onda (di eccitazione e di emissione) adeguate al rilevamento delle diverse sostanze:

- L1. Fluoresceina sodica
- L2. Amidorodamina-G
- L3. Tinopal CBS-X
- L4. Torbidità.

Anche in assenza di traccianti fluorescenti gli strumenti restituiscono alle 4 lampade un segnale elettrico (in mV) maggiore di zero, che rappresenta il rumore di fondo, che include una componente strumentale ed una ambientale. Per tale motivo è stato fondamentale il monitoraggio del bianco ambientale presso i due punti di monitoraggio preliminarmente all'immissione: esso si è svolto dal 22/05 (data di installazione degli strumenti) sino al 29/05 compreso.

Per ottenere le concentrazioni di tracciante è stata eseguita la calibrazione degli strumenti su soluzioni a concentrazioni note dei traccianti utilizzati: tale operazione è stata effettuata al termine della prova in laboratorio. Nel processo di calibrazione i segnali in mV vengono inoltre corretti automaticamente sul segnale di torbidità, che, soprattutto in situazioni di acque molto torbide, va a generare segnali apparenti anche sulle altre lampade: in Tabella 6 sono presentati i segnali in mV rilevati dai fluorimetri alle quattro lampade sulle



S.G.M. Geologia e Ambiente

S.r.l.

Via M. Majocchi Plattis, 21
44124 FERRARA

internet: www.sgm-ambiente.it

e-mail: info@sgm-ambiente.it

Tel 0532/977899

Fax 0532/906907

C.F. e Partita Iva 01299560381

diverse acque (acqua pulita da rete acquedottistica e bianco ambientale del POZZO MISE e del piezometro S29) e su soluzioni a concentrazione nota di tracciante (10 ppb o $\mu\text{g/L}$) preparate in laboratorio utilizzando l'acqua di bianco ambientale del POZZO MISE. Il segnale in mV rilevato alla concentrazione di 100 ppb evidenzia il diverso potere fluorescente delle tre sostanze utilizzate (a parità di concentrazione), ben noto da bibliografia (Käss, 1998; Behrens et al., 2001; Benischke et al., 2007; Leibundgut et al., 2009).

	L1 - mV	L2 - mV	L3 - mV	L4 - mV
ACQUA PULITA (ACQUEDOTTO)	1.72	1.39	1.61	385
ACQUA POZZO MISE (BIANCO AMBIENTALE)	16.2	4.56	83.19	982.97
ACQUA PIEZOMETRO S29 (BIANCO AMBIENTALE)	10.95	2.38	78.36	418.37
Soluzione 100 ppb FLUORESCINA SODICA	1250.42	67.84	139.79	1432.29
Soluzione 100 ppb SULFORODAMINA-G	208.12	420.97	73.07	1106.79
Soluzione 100 ppb TINOPAL CBS-X	16.22	6.13	131.26	892.15

Tabella 6. Dati di calibrazione dei fluorimetri da campo: segnali in mV rilevati alle quattro lampade sulle diverse soluzioni di calibrazione preparate in laboratorio, oltre che ad un'acqua pulita (rete acquedottistica) e all'acqua di bianco ambientale del POZZO MISE e del piezometro S29.

Oltre alla torbidità delle acque, sul sito si è presentato l'inconveniente dei metalli in soluzione nelle acque, che ha generato la deposizione di ossidi metallici sulla strumentazione installata in foro, soprattutto presso il POZZO MISE: ad ogni sopralluogo veniva eseguita la pulizia degli strumenti, poiché la deposizione di patine e incrostazioni determina un oscuramento parziale della cella di misura, ma al POZZO MISE tale processo si è rivelato così rilevante da richiedere ripetute pulizie con Acido Cloridrico Fumigante (HCl al 36%).

Prima di presentare i risultati del monitoraggio fluorimetrico, è opportuno mostrare alcuni esempi di esiti positivi di test con traccianti. In Figura 8 è mostrata una rappresentazione schematica di prova di tracciamento in un mezzo acquifero omogeneo e della curva di arrivo del tracciante al punto di monitoraggio (concentrazioni vs. tempo) caratterizzata dalla classica forma di curva gaussiana asimmetrica con coda sui tempi maggiori, causata dalle leggi di dispersione idrodinamica che contraddistinguono tutti i mezzi porosi. In Figura 9 sono inoltre mostrate alcune curve sperimentali di arrivo di fluoresceina sodica a diversi punti di monitoraggio nell'ambito di una prova di tracciamento in un mezzo acquifero roccioso fratturato su lunghe distanze (da Vincenzi et al., 2009).

L'arrivo di un tracciante ad un punto di monitoraggio, soprattutto in caso di tempi d'arrivo lunghi (per distanze rilevanti e/o permeabilità del mezzo poroso medio-basse), si va a distribuire su un lungo intervallo temporale e presenta una distribuzione delle concentrazioni nel tempo simile a quelli esemplificati, a causa del processo di dispersione idrodinamica. Uno schema di questo processo lungo la direzione di flusso è mostrato nei grafici di Figura 10: la dispersione della concentrazione avviene sia lungo la direzione media di flusso che in direzione perpendicolare ad essa, determinando un pennacchio (o *plume*) di tracciante che arriva al punto di monitoraggio con una concentrazione variabile nel tempo ed i cui valori, in assenza di fenomeni particolari, si distribuiscono su una curva, di forma gaussiana asimmetrica, chiamata "curva di arrivo o di *breakthrough*".

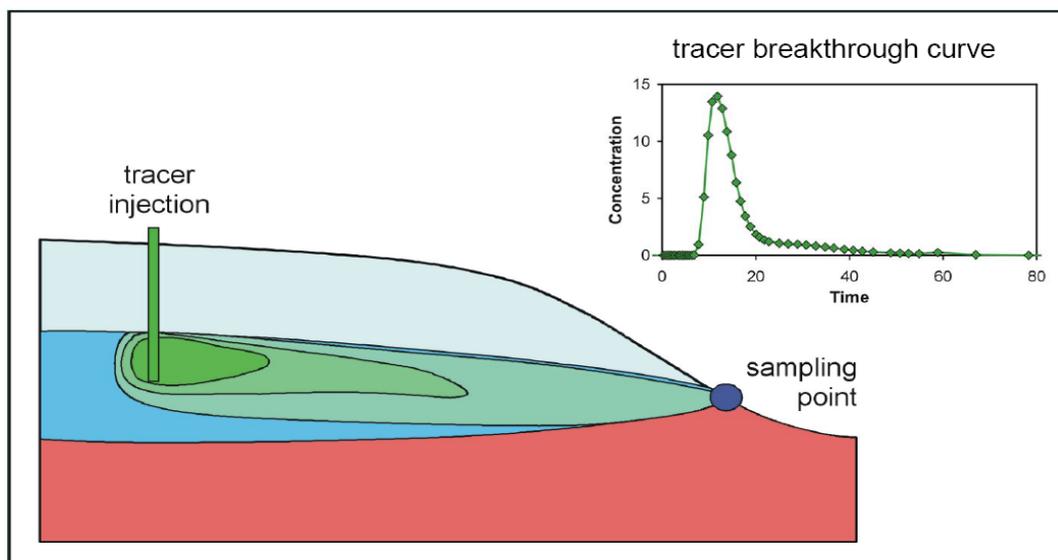


Figura 7. Schema tipo di una prova di tracciamento delle acque sotterranee.

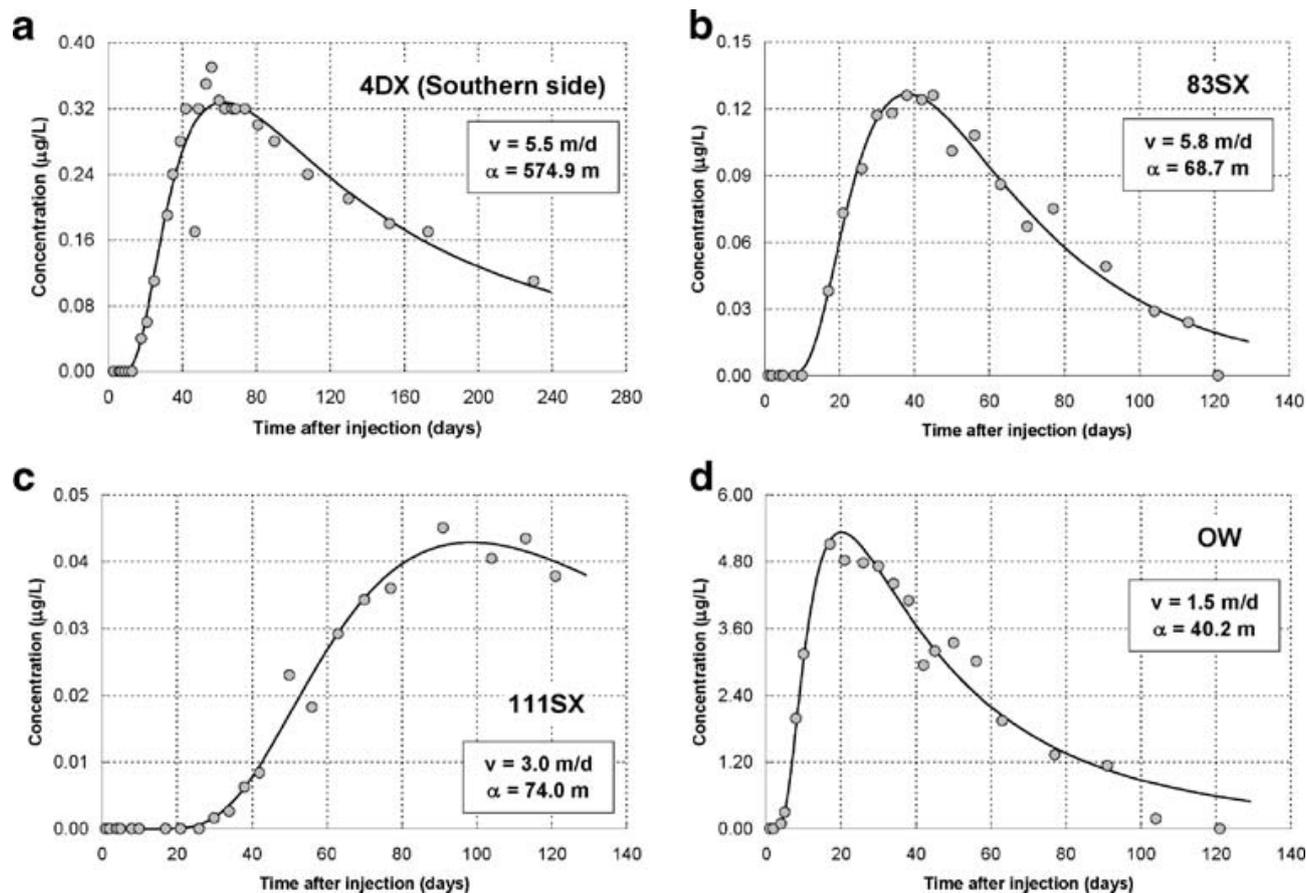


Figura 8. Esempi di possibili curve di arrivo (*breakthrough curves*) di traccianti a punti di monitoraggio (estratto da Vincenzi et al., 2009): i pallini individuano le misure sperimentali da campionamenti e le linee i risultati calcolati da un modello analitico; a, b, c, d sono rappresentativi di 4 diversi punti di campionamento.

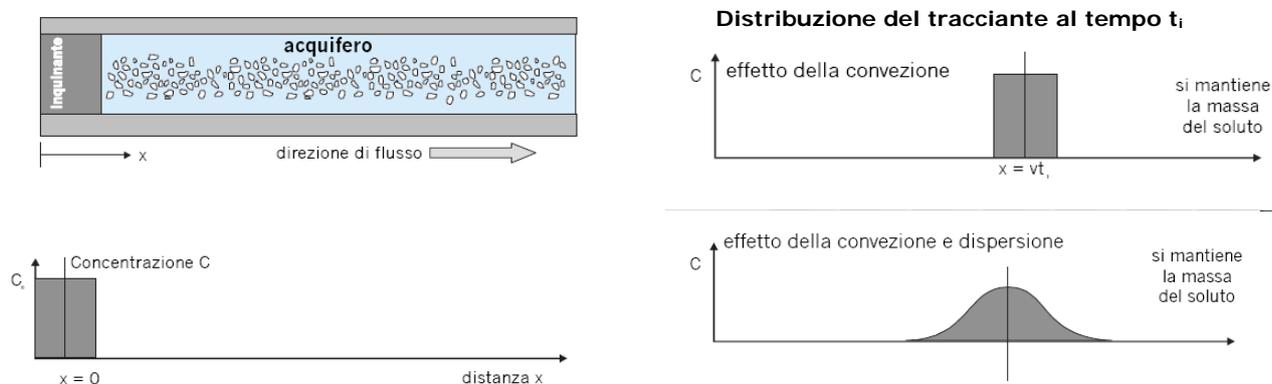


Figura 9. Processo della dispersione idrodinamica (convezione+dispersione), comparato al processo di sola convezione.

Fatte queste opportune premesse, si vanno a presentare i risultati del monitoraggio fluorimetrico.

Nel grafico di Figura 11 sono rappresentati i grafici del monitoraggio fluorimetrico all'interno del piezometro S29. Con linee rosse verticali sono evidenziate le date dei sopralluoghi, in cui venivano eseguite operazioni di manutenzione e pulizia della sonda.

La linea nera mostra l'andamento della temperatura dell'acqua, che sul periodo di monitoraggio aumenta dolcemente da un minimo di 18,3 ad un massimo di 21,3 °C; i picchi improvvisi di temperatura in corrispondenza dei sopralluoghi sono dovuti all'estrazione dello strumento dal foro alla superficie per le operazioni di pulizia e manutenzione.

La torbidità (linea grigia) restituisce valori compresi tra 0 e 40 NTU: i valori maggiori sono stati misurati nelle prime settimane di prova, forse accentuati dall'installazione della strumentazione in foro; a inizio giugno precipitano a zero, per poi aumentare gradualmente fino a fine luglio; nel mese di agosto si osservano oscillazioni molto frequenti, seguite da una fase più stabile fino a fine prova. Va detto che frequentemente ai sopralluoghi (evidenziati dalle linee verticali rosse nel grafico) segue un calo della torbidità misurata, perché la pulizia della sonda rimuove patine e incrostazioni presenti sulla cella di misura che oscurano parzialmente le misurazioni ottiche.

Sia la Fluoresceina sodica (linea verde) che la Amidorodamina-G (linea magenta) mostrano concentrazioni sempre nulle, sin dalla fase di monitoraggio del bianco ambientale.

Per quanto riguarda la terza lampada (quella che rileva il Tinopal), invece, anche a valle della calibrazione e della correzione sulla torbidità, rimangono delle concentrazioni apparenti di Tinopal superiori allo zero. La fase iniziale di monitoraggio ambientale (dal 22/5 al 29/5) mostra che tali concentrazioni sono presenti nelle acque naturali e possono essere imputate alla presenza di materia organica e/o di altre sostanze che emettono fluorescenza in corrispondenza della porzione di spettro UV su cui lavora la lampada 3 dello strumento. Per cui certamente tali concentrazioni non sono imputabili al Tinopal immesso in data 31/05/2017 al piezometro S27, ma sono rappresentative di un bianco ambientale che sul lungo periodo mostra una sua variabilità, causato da altre sostanze presenti nelle acque.

Pertanto a tutta la serie dati andrebbe sottratta la concentrazione iniziale di circa 75 ppb e tutta la curva graficata con la linea azzurra si ridurrebbe a 0 ppb.

Si conclude che il fluorimetro installato al piezometro S29 non ha rilevato nessuno dei tre traccianti.



S.G.M. Geologia e Ambiente

S.r.l.

Via M. Majocchi Plattis, 21
44124 FERRARA

internet: www.sgm-ambiente.it

e-mail: info@sgm-ambiente.it

Tel 0532/977899

Fax 0532/906907

C.F. e Partita Iva 01299560381

Nel grafico di Figura 12 sono rappresentati i grafici del monitoraggio fluorimetrico al POZZO MISE. Con linee rosse verticali sono evidenziate le date dei sopralluoghi, in cui venivano eseguite operazioni di manutenzione e pulizia della sonda.

La linea nera mostra l'andamento della temperatura dell'acqua, che sul periodo di monitoraggio aumenta da un valore iniziale di 24 ad un massimo di 26,5 °C raggiunto a metà agosto, per poi decrescere fino ad un minimo di circa 21° C a fine prova. Questo trend termometrico più simile a quello della temperatura atmosferica è dovuto alla minore profondità di installazione dello strumento ed al grande diametro del POZZO MISE, fattori che spiegano le oscillazioni termiche giornaliere; sono presenti inoltre oscillazioni cicliche di frequenza inferiore al giorno causate dalla pompa sommersa che periodicamente abbatte il livello idrico nel pozzo.

La torbidità (linea grigia nel grafico) è molto alta e restituisce segnali variabili tra 0 e 80 NTU, con ripetuti eventi di raggiungimento del fondo scala (120 NTU), causati dalla deposizione di ossidi metallici sulla cella interna di misura ed oscuramento della stessa. A differenza di quanto rilevato nel piezometro S29, nel POZZO MISE raramente ai sopralluoghi segue un calo della torbidità misurata, perché le acque sono più torbide, e sul fondo del pozzo è presente uno spesso strato di sedimento limoso-argilloso che viene ripetutamente movimentato dall'accensione della pompa sommersa. Il fluorimetro è stato posizionato il più lontano possibile dalla pompa, ma inevitabilmente ne ha risentito molto. Trattandosi un sistema di MISE l'elettropompa non poteva certamente essere disattivata.

Inoltre, le acque raccolte da questo pozzo sono particolarmente ricche in Ferro e Manganese: al variare delle condizioni redox (al semplice contatto con l'aria) causano problemi di incrostazioni (depositi) di ossidi metallici. Il problema si è accentuato nel mese di luglio, probabilmente a causa della forte evaporazione, e ha determinato più volte il raggiungimento del fondo scala sulla lampada L4 che rileva la Torbidità, nonostante le operazioni di pulizia con HCl 36%.

Sia la Fluoresceina sodica (linea verde) che la Amidorodamina-G (linea magenta) mostrano concentrazioni sempre nulle, sin dalla fase di monitoraggio del bianco ambientale.

Per quanto riguarda la terza lampada (quella che rileva il Tinopal), invece, valgono le stesse considerazioni effettuate per il piezometro S29. Anche a valle della calibrazione e della correzione sulla torbidità, rimangono delle concentrazioni apparenti di Tinopal superiori allo zero. La fase iniziale di monitoraggio ambientale (dal 22/5 al 29/5) mostra che tali concentrazioni sono presenti nelle acque naturali (anzi presentano i valori massimi) e possono essere imputate alla presenza di materia organica e/o di altre sostanze che emettono fluorescenza in corrispondenza della porzione di spettro UV su cui lavora la lampada 3 dello strumento. Per cui certamente tali concentrazioni non sono imputabili al Tinopal immesso in data 31/05/2017 al piezometro S27, ma sono rappresentative di un bianco ambientale che sul lungo periodo mostra una sua variabilità ed è quindi certamente causato da altre sostanze presenti nelle acque.

Pertanto a tutta la serie dati andrebbe sottratta la concentrazione iniziale di circa 70 ppb e tutta la curva graficata con la linea azzurra si ridurrebbe a 0 ppb.

Le fasi in cui le concentrazioni alla lampada 3 precipitano a zero, invece, sono dovute all'oscuramento della cella di misurazione per la deposizione degli ossidi metallici. Va precisato che tali gap nella serie dati sono compensati sempre dall'analisi del fluorocaptore raccolto ad ogni sopralluogo (che copre l'intervallo temporale tra un sopralluogo e l'altro) e dall'analisi del campione d'acqua raccolto manualmente.

Si conclude pertanto che il fluorimetro installato al POZZO MISE, nonostante le problematiche causate dall'aggressività chimico-fisica delle acque, non ha rilevato nessuno dei tre traccianti.



S.G.M. Geologia e Ambiente

S.r.l.

Via M. Majocchi Plattis, 21
44124 FERRARA

internet: www.sgm-ambiente.it

e-mail: info@sgm-ambiente.it

Tel 0532/977899

Fax 0532/906907

C.F. e Partita Iva 01299560381

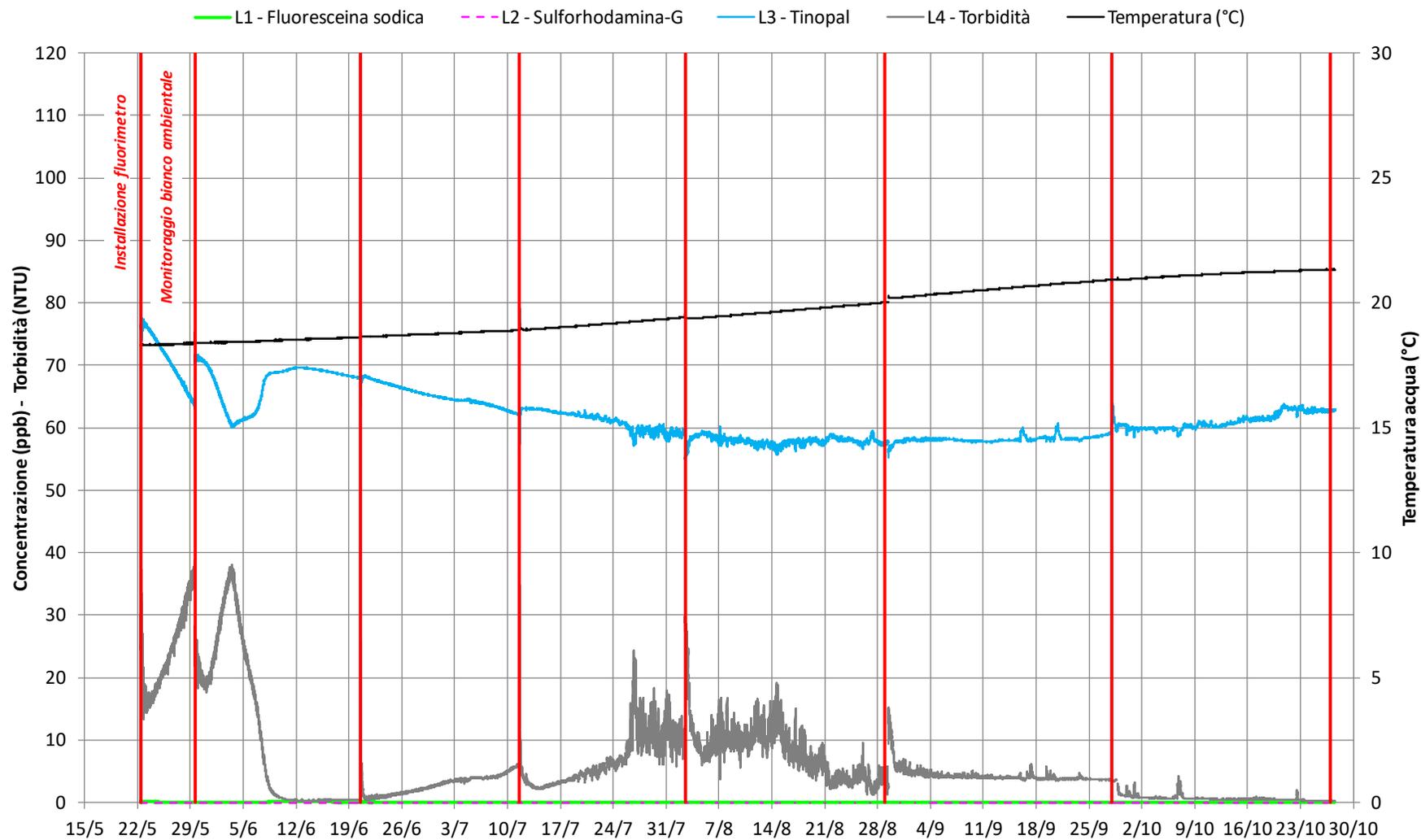


Figura 10. Monitoraggio con fluorimetro al piezometro S29: temperatura dell'acqua, concentrazioni dei traccianti reali (L1, L2) e apparenti (L3) e Torbidità (NTU): spiegazione nel testo.



S.G.M. Geologia e Ambiente

S.r.l.

Via M. Majocchi Plattis, 21
44124 FERRARA

internet: www.sgm-ambiente.it

e-mail: info@sgm-ambiente.it

Tel 0532/977899

Fax 0532/906907

C.F. e Partita Iva 01299560381

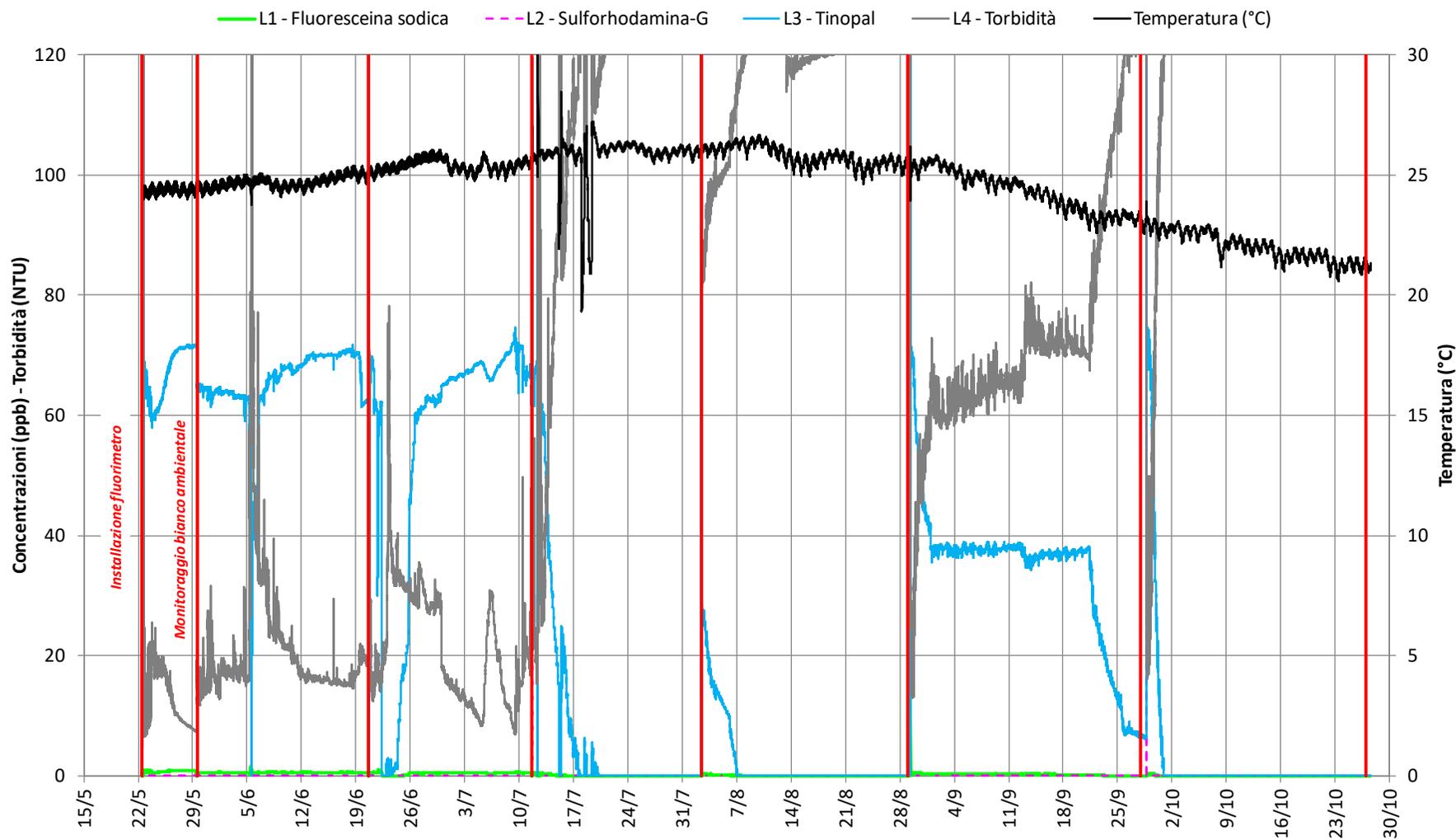


Figura 11. Monitoraggio con fluorimetro al POZZO MISE: temperatura dell'acqua, concentrazioni dei traccianti reali (L1, L2) e apparenti (L3) e Torbidità (NTU): spiegazione nel testo.



S.G.M. Geologia e Ambiente

S.r.l.

Via M. Majocchi Plattis, 21
44124 FERRARA

internet: www.sgm-ambiente.it

e-mail: info@sgm-ambiente.it

Tel 0532/977899

Fax 0532/906907

C.F. e Partita Iva 01299560381

3.7.3 Analisi sui fluorocaptori

Sono state installate e raccolte le seguenti batterie di fluorocaptori:

- Serie 00 (bianco ambientale): immersione dal 22/5 al 29/5;
- Serie 01: immersione dal 29/5 al 20/06;
- Serie 02: immersione dal 20/06 al 11/07;
- Serie 03: immersione dal 11/07 al 02/08;
- Serie 04: immersione dal 02/08 al 29/08;
- Serie 05: immersione dal 29/08 al 28/09;
- Serie 06: immersione dal 28/09 al 27/10 (fine prova).

Durante la operazioni di campo in alcune situazioni non è stato possibile installare o prelevare il fluorocaptore per diverse motivazioni:

- Punto di monitoraggio completamente secco: è questo il caso del piezometro S33, che però è stato sostituito dal piezometro S34 sin dall'inizio della prova;
- Punto di monitoraggio che si è seccato in corso di prova, per abbassamento del livello piezometrico: è questo il caso dei punti SORGENTE,S32;
- Fluorocaptore incastrato irreversibilmente con cavi e tubi dell'elettropompa sommersa presente in foro e perso all'interno del piezometro: è questo il caso del punto R1.

Nella Tabella dell'Allegato 12 sono presentati i dati di campo di tutti i sopralluoghi:

- Data e ora delle operazioni eseguite presso ciascun punto di monitoraggio.
- Misure di soggiacenza da b.f. eseguite;
- Campioni d'acqua (C) e Fluorocaptori (F) prelevati;
- Piezometri secchi;
- Motivazioni dei mancati prelievi (nel campo Note).

I campioni della serie 00 hanno permesso di determinare il bianco ambientale.

Tutti i campioni delle Serie da 01 a 06 hanno dato esito negativo, come illustrato dettagliatamente nel Report del 15/12/17 dell'Università di Modena e Reggio Emilia (Allegato 14).

L'affidabilità dei risultati è massima per quanto concerne Fluoresceina sodica e Amidorodamina-G.

Le limitazioni rilevate per il Tinopal, causate dai problemi di forte interferenza con torbidità e sostanza organica disciolta in acqua, ed evidenziate sin dall'inizio (Relazione di Progettazione Esecutiva), sono state risolte attraverso la raccolta e analisi di campioni d'acqua, di cui si illustrano i risultati al seguente paragrafo.

3.7.4 Analisi sui campioni di acqua

Nella già citata Tabella dell'Allegato 12 sono presentati i dati di campo di tutti i sopralluoghi, compreso il prelievo del campione d'acqua (C).

I campioni d'acqua prelevati sono stati analizzati con l'ausilio del fluorimetro da campo ed è stato applicato lo stesso processo di calibrazione: le intensità di fluorescenza rilevate dallo strumento sono state convertite in concentrazioni (ppb) attraverso i dati di calibrazione di Tabella 6.

I risultati sono sintetizzati nei grafici di Figura 13, relativi a:

- Lampada 1 – Fluoresceina sodica (concentrazioni in ppb)



S.G.M. Geologia e Ambiente

S.r.l.

Via M. Majocchi Plattis, 21
44124 FERRARA

internet: www.sgm-ambiente.it

e-mail: info@sgm-ambiente.it

Tel 0532/977899

Fax 0532/906907

C.F. e Partita Iva 01299560381

- Lampada 2 – Amidorodamina-G (concentrazioni in ppb)
- Lampada 3 – Tinopal CBS-X o Sostanza organica o altre sostanze disciolte in acqua (concentrazioni in ppb)
- Lampada 4 – Torbidità (in NTU).

I campioni sono graficati in ordine alfabetico secondo la sigla punto, ma si ritiene opportuno commentarli da monte verso valle flusso, e facendo riferimento alla planimetria di Figura 1 possono essere raggruppati come segue.

Punti a monte flusso dei corpi discarica:

- Il piezometro S34 presenta concentrazioni nulle (o minori uguali del valore di bianco ambientale - campagna 00) per i 3 traccianti durante tutte le campagne di campionamento; presenta inoltre valori di torbidità modesti, generalmente inferiori a 5 NTU.
- Analoghe considerazioni valgono per i piezometri R4, e R5.
- Il piezometro S26 presenta concentrazioni apparenti alle lampade 1, 2 e 3, ma sempre minori uguali del valore di bianco ambientale - campagna 00; presenta inoltre valori di torbidità modesti, generalmente inferiori a 5 NTU.
- Il piezometro S33, sempre secco, non è mai stato campionato.
- La SORGENTE è stata campionata solo alla campagna 00, perché alle campagne seguenti il battente idrico in pozzo era così ridotto da impedire il campionamento con bailer (ma è stata monitorata con i fluorocaptori fino alla Serie 03, seguita dal totale prosciugamento).

Punti sul fianco ovest della discarica consortile, in ordine da monte verso valle:

- I piezometri S32 e S4 presentano concentrazioni nulle (o minori uguali del valore di bianco ambientale - campagna 00) per i 3 traccianti durante tutte le campagne di campionamento; presenta inoltre valori di torbidità modesti, generalmente inferiori a 5 NTU.
- Analoghe considerazioni valgono per il piezometro R3 e S3.

Punti a valle dei corpi discarica (in ordine da ovest verso est):

- Per il POZZO MISE si fa riferimento al monitoraggio fluorimetrico in continuo, che è comunque confermato ed integrato dai campionamenti manuali: dai grafici di Figura 13 si ricava che la Torbidità è superiore a quella media del sito (raggiungendo valori superiori a 5 NTU), ma inferiore a quella rilevata dal fluorimetro, che rileva il dato reale sul campo (l'analisi sul campione viene eseguita invece dopo la decantazione dei sedimenti in sospensione); inoltre sui campioni si osservano, sin dal bianco ambientale, concentrazioni apparenti alle lampade 1 e 3, sicuramente non imputabili ai traccianti immessi.
- I piezometri S31, R1, S1, R6 e S28 presentano concentrazioni nulle (o minori uguali del valore di bianco ambientale - campagna 00) per i 3 traccianti durante tutte le campagne di campionamento; presenta inoltre valori di torbidità modesti, generalmente inferiori a 5 NTU.
- Il piezometro R2 non era campionabile con bailer per l'elevata profondità della tavola d'acqua e la presenza della pompa sommersa.
- Il piezometro S2 presenta concentrazioni apparenti alle lampade 1, 2 e 3, ma sempre minori uguali del valore di bianco ambientale - campagna 00; presenta inoltre valori di torbidità modesti, generalmente inferiori a 5 NTU.
- Il POZZO COSSU presenta concentrazioni nulle (o minori uguali del valore di bianco ambientale - campagna 00) per i 3 traccianti durante tutte le campagne di campionamento; presenta inoltre valori di torbidità modesti, generalmente inferiori a 5 NTU.
- Per il piezometro S29 si fa riferimento al monitoraggio fluorimetrico in continuo, che è comunque confermato ed integrato dai campionamenti manuali: dai grafici di Figura 13 si ricava che la Torbidità è superiore a quella media del sito (raggiungendo in un paio di casi valori molto elevati); inoltre sui



**S.G.M. Geologia e Ambiente
S.r.l.**

Via M. Majocchi Plattis, 21
44124 FERRARA

internet: www.sgm-ambiente.it

e-mail: info@sgm-ambiente.it

Tel 0532/977899

Fax 0532/906907

C.F. e Partita Iva 01299560381

campioni si osservano, sin dal bianco ambientale, concentrazioni apparenti alle lampade 1 e 3, sicuramente non imputabili ai traccianti immessi.

- Il punto S9, un pozzettone ubicato immediatamente a valle della discarica comunale (in anelli di cemento prefabbricato con profondità circa 3 m, diametro 2 m ed elettropompa sommersa installata al suo interno), presenta concentrazioni apparenti alle lampade 1, 2 e 3 con valori piuttosto considerevoli. Purtroppo è stato possibile campionare le acque solo a inizio e termine prova, per il ridotto battente idrico a fondo pozzo: le concentrazioni apparenti rilevate alla Serie 06 sono analoghe a quelle rilevate alla Serie 00, quindi incrociando con i risultati dei fluorocaptori, l'esito può considerarsi negativo.
- Il punto c', un piezometro superficiale ubicato immediatamente a valle della discarica comunale (piezometro con b.f. a piano campagna senza tappo, né pozzetto di protezione dalle acque superficiali), presenta sin dal bianco ambientale concentrazioni apparenti alle lampade 1, 2 e 3 con valori piuttosto considerevoli, soprattutto per Fluoresceina sodica e Tinopal. Solamente in due campioni (Serie 05 e Serie 06) la concentrazione di Amidorodamina-G supera significativamente quella del bianco ambientale: considerando che tale tracciante è stato immesso in questo corpo discarica, nonostante i fluorocaptori corrispondenti abbiano dato esito negativo, non si può escludere la possibilità che tali campioni rappresentino l'inizio di una curva di arrivo del tracciante al punto. Secondo tale ipotesi il piezometro S29 non aveva ancora iniziato a rilevare la sostanza perché posizionato più a valle del punto c'.



S.G.M. Geologia e Ambiente S.r.l.

Via M. Majocchi Plattis, 21
44124 FERRARA

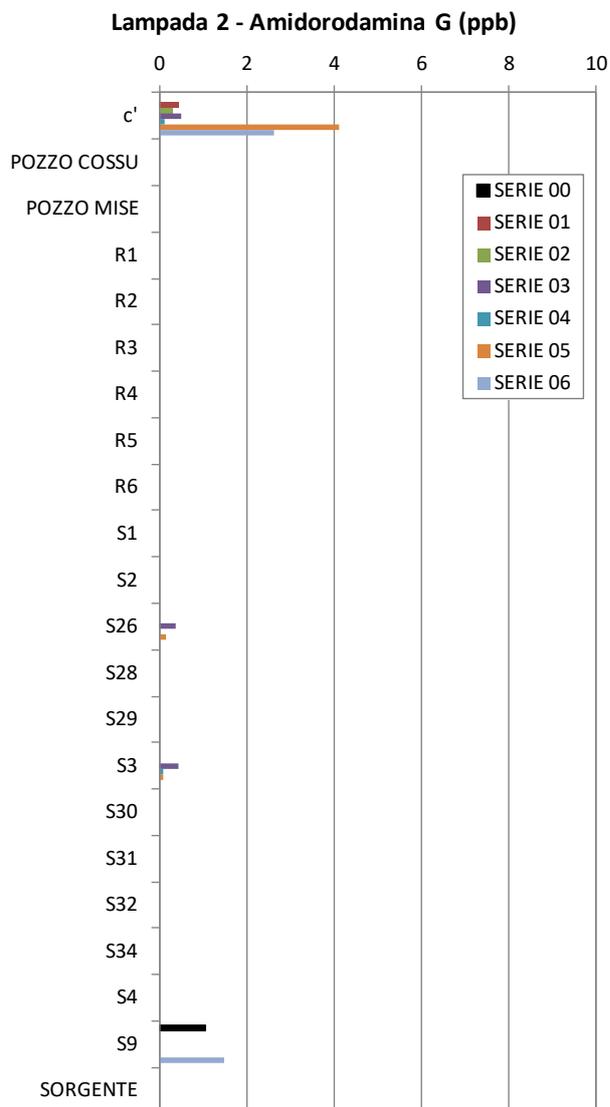
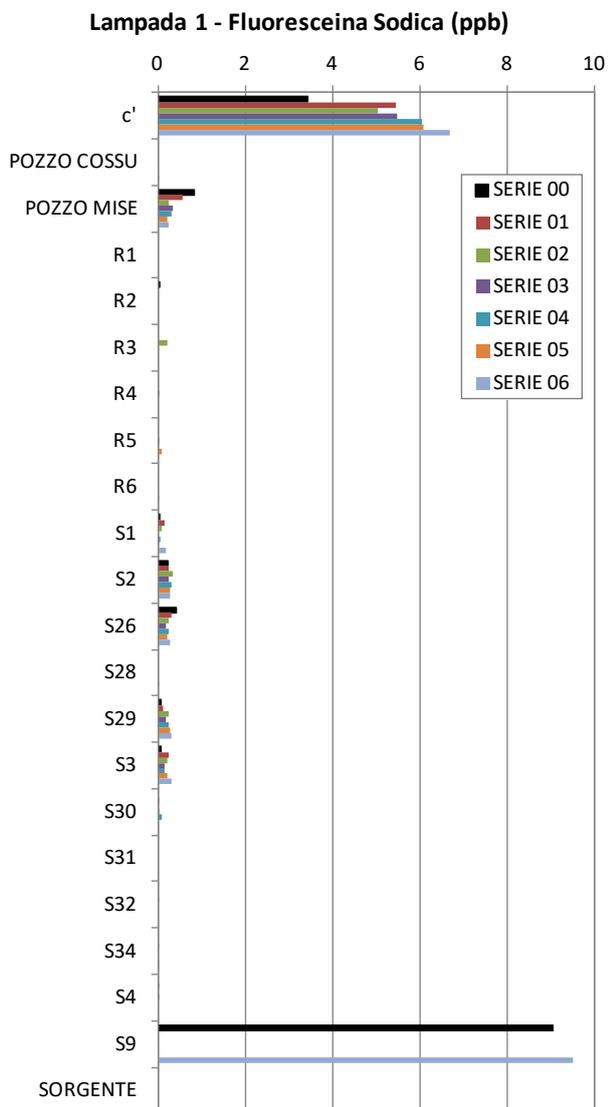
internet: www.sgm-ambiente.it

e-mail: info@sgm-ambiente.it

Tel 0532/977899

Fax 0532/906907

C.F. e Partita Iva 01299560381



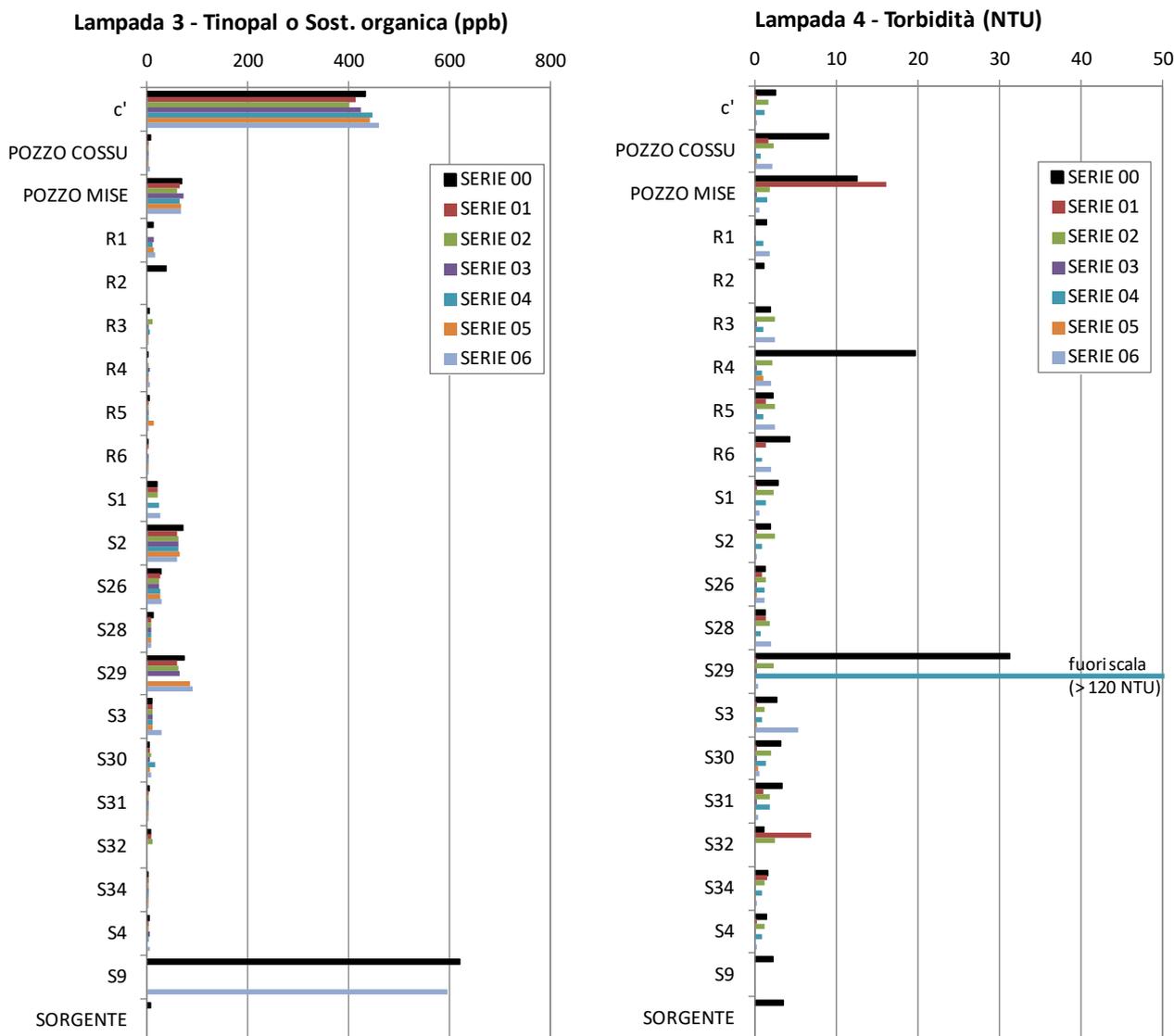


Figura 12. Analisi fluorimetriche sui campioni d'acqua prelevati ai punti di monitoraggio di Tabella 4; spiegazione nel testo.

4 Conclusioni

La prova si è svolta regolarmente, secondo quanto previsto nel documento di Progettazione Esecutiva.

Il campionamento con fluorocaptori in taluni casi non è stato possibile (i campioni mancanti sono esplicitati e motivati nella tabella di Allegato 12); il contestuale prelievo manuale di campioni d'acqua ai sopralluoghi ha permesso di colmare i dati mancanti e di eseguire in molti casi una verifica dei risultati.

Le limitazioni evidenziate per il Tinopal CBS-X (forte interferenza con la sostanza organica disciolta in acqua e altre possibili sostanze) si sarebbero presentate con qualsiasi altro tracciante che emette fluorescenza su questa porzione di spettro UV (corrispondente alla Lampada 3 dello strumento); per cui un tracciamento multiplo con 3 traccianti non può prescindere da tali limitazioni, sicuramente accentuate nel sito in esame



**S.G.M. Geologia e Ambiente
S.r.l.**

Via M. Majocchi Plattis, 21
44124 FERRARA

internet: www.sgm-ambiente.it

e-mail: info@sgm-ambiente.it

Tel 0532/977899

Fax 0532/906907

C.F. e Partita Iva 01299560381

dalla peculiare composizione delle acque sotterranee. Comunque si ritiene che le limitazioni siano state superate attraverso l'integrazione di tutti i dati raccolti.

Il monitoraggio fluorimetrico in continuo ai punti S29 e POZZO MISE non ha rilevato traccianti disciolti in acqua sull'intero periodo di monitoraggio.

Il monitoraggio passivo con fluorocaptori non ha rilevato traccianti ai punti di monitoraggio.

Solamente l'analisi dei campioni d'acqua prelevati manualmente ha evidenziato la potenziale presenza di Amidorodamina-G in soli due campioni d'acqua prelevati alle Serie 05 e 06 presso il piezometro c'. Purtroppo i dati a disposizione non permettono di asserire con certezza che l'esito è positivo, sia in considerazione del bianco ambientale che già mostra concentrazioni apparenti per questa sostanza, ma soprattutto dello stato del piezometro (bocca foro a piano campagna, assenza di tappo e di pozzetto di protezione dalle acque di ruscellamento).

Si conclude che i test hanno esito negativo sui 5 mesi di monitoraggio.



S.G.M. Geologia e Ambiente

S.r.l.

Via M. Majocchi Plattis, 21
44124 FERRARA

internet: www.sgm-ambiente.it

e-mail: info@sgm-ambiente.it

Tel 0532/977899

Fax 0532/906907

C.F. e Partita Iva 01299560381

5 Bibliografia

- Behrens H., Beims U., Dieter H., Dietze G., Eikmann T., Grummt T., Hanisch H., Henseling H., Käss W., Kerndorff H., Leibundgut C., Müller-Wegener U., Ronnefahrt I., Scharenberg B., Schleyer R., Schloz W. & Tilkes F. (2001). *Toxicological and ecotoxicological assessment of water tracers*. Hydrogeology Journal, 9(3): 321–325.
- Benischke R., Goldscheider N. & Smart C. (2007) Tracer techniques. In: Methods in karst hydrogeology. Taylor & Francis Eds., 2007.
- Käss W. (1998). *Tracing techniques in geohydrology*. Balkema editions.
- Leibundgut C., Maloszewski P. & Külls C. (2011). *Tracers in hydrology*. Wiley.
- Schudel B., Biaggi D., Dervey T., Kozel R., Müller I., Ross J.H. & Schindler U. (2002). *Utilisation des traceurs artificiels en hydrogéologie – Guide pratique*. Rapporti dell'UFAEG, Serie Geologia, N. 3, pp. 77.
- Vincenzi V., Gargini A., Goldscheider N. (2009) *Using tracer tests and hydrological observations to evaluate effects of tunnel drainage on groundwater and surface waters in the Northern Apennines (Italy)*. Hydrogeology Journal, 17(1):135-150. DOI: 10.1007/s10040-008-0371-5.