




	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 1 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

## Sito di Cengio (SV)

### Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate in Area A3

					
00	Emissione	POLIMI	Conti	Troni	09/05/2017
<b>Indice di Rev.</b>	<b>Descrizione Revisione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato</b>	<b>Data</b>
<p><i>Allegato 3 - Istruzione Operativa "Gestione ed Archiviazione Documentazione di Progetto"</i>  Questo documento è di proprietà Syndial S.p.A. che se ne riserva tutti i diritti.  La copia, una volta prelevata dal sito, è in stato non controllato; prima dell'utilizzo verificare la validità della revisione.</p>					

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 2 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

Memorandum delle revisioni

Ind. Di Rev.	Data	Paragrafo	Descrizione sintetica revisione

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 3 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

## Sommario

1. INTRODUZIONE .....	4
2. SINTESI DELLE ATTIVITÀ PREGRESSE .....	6
3. SINTESI DEGLI ESITI DELLE INDAGINI DI APPROFONDIMENTO .....	12
3.1 Breve inquadramento sugli monitoraggi effettuati in Area A3 .....	12
3.2 Misure piezometriche lungo sezione Fiume Bormida-aree interne .....	16
3.3 Prove di pompaggio a portata costante .....	19
3.4 Le indagini sulla marna: indagini SEM, TEM e XRD .....	20
3.5 Caratterizzazione geochimica e isotopica delle acque .....	22
3.6 Ricostruzione di un modello idrogeologico numerico del sito .....	27
3.6.1 Sintesi dei risultati delle simulazioni di flusso (“sezioni estese” e modelli di dettaglio) .....	32
3.6.2 Sintesi dei risultati delle simulazioni di trasporto .....	37
4. CONCLUSIONI .....	41

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 4 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

## 1. Introduzione

Il presente documento ha lo scopo di sintetizzare i risultati delle attività di approfondimento tecnico, svolte autonomamente dai diversi soggetti facenti parte del Gruppo di Lavoro, così come previste nel documento "Sistema di monitoraggio post-operam del sito di Cengio (SV): analisi dei risultati preliminari" (URS, luglio 2015), inviato agli enti con Prot.165/15/CP del 7/8/2015 ed eseguite sul sito di Cengio nel periodo tra Marzo 2016 e Marzo 2017 unitamente ai monitoraggi post-operam, proseguiti in continuità da ottobre 2014.

Tali attività, che sono descritte nel dettaglio nei relativi report di pertinenza in allegato alla presente, sono state realizzate al fine di raccogliere ulteriori elementi di supporto all'interpretazione e alla conferma del modello concettuale delineato nel documento su citato, con particolare riferimento alla verifica delle differenti caratteristiche ed origini delle acque sotterranee oggi confinate all'interno del sito, ad opera del sistema di barriera fisico ed idraulico esistente, rispetto alle acque rinvenute all'interno dell'ammasso marnoso e all'interno dei materiali incontaminati riportati in area A3, a conferma della funzionalità ed efficacia dello stesso sistema di contenimento.

Complessivamente i risultati delle attività condotte concorrono a consolidare le conclusioni a cui era giunto lo studio prodotto da URS nel 2015, in particolare in relazione a:

- le caratteristiche del complesso idrogeologico, che identificano la marna come un substrato a bassa permeabilità. Tale conclusione è sostenuta dalle indagini SEM, TEM e XRD, dall'analisi degli effetti piezometrici degli spurghi che sono periodicamente condotti in marna, dalle prove di pompaggio, dagli studi isotopici finalizzati alla comprensione della circolazione idrica ed è coerente con le elaborazioni del modello matematico di simulazione dei flussi di acqua nel sito;
- l'origine storica della contaminazione rilevata all'esterno, che risulta risalire ai tempi in cui nell'area erano presenti materiali e terreni contaminati, accumulati nel corso di diversi decenni e fino agli anni '70, antecedentemente alla gestione del sito da parte di syndial. Tale conclusione è conseguente alle evidenze di carattere geochimico e isotopico che dimostrano in più punti una assenza di correlazione tra la contaminazione oggi riscontrata all'interno dell'opera di contenimento del sito e quella riscontrata all'esterno;
- conseguentemente a queste ultime evidenze, risulta chiaro che la stessa opera di contenimento, costituita da un diaframma plastico contenente al suo interno un telo in HDPE, affiancato ad una trincea drenante, effettua una separazione efficace fra questi due ambienti. Tale aspetto è coerente anche con i

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 5 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

dati piezometrici lungo sezione che evidenziano come i livelli del Bormida siano generalmente più alti rispetto a quelli interni in corrispondenza della trincea drenante, ad indicazione della persistenza di un contro-gradiente idraulico, diretto dall'esterno verso l'interno del sito, che costituisce un ulteriore elemento di sicurezza idraulica, supplementare alla presenza del sistema di confinamento fisico (i.e. del diaframma plastico). Queste conclusioni sono coerenti anche con le elaborazioni modellistiche;

- l'efficacia delle opere messe in atto per la bonifica delle aree esterne e la messa in sicurezza permanente delle aree interne è inoltre confermata dai risultati dei monitoraggi effettuati sulle acque superficiali del fiume Bormida, che già nel 2006 ha raggiunto uno stato ambientale "buono" (cfr. Piano di tutela delle Acque della Regione Piemonte del marzo 2007). Anche nell'ambito dei presenti approfondimenti, il campionamento delle acque del fiume Bormida, effettuato con cadenza mensile in più punti di prospicienti il sito, con la ricerca di tutti gli analiti previsti dal protocollo approvato per il sito di Cengio (circa 270 composti), ha confermato la buona qualità per le acque del Fiume Bormida. Infatti, per nessuno degli analiti esaminati, nei campioni prelevati lungo l'area A3 e immediatamente a valle di questa, si è avuto superamento dei limiti di riferimento (D. Lgs. 152/2006 All.1 parte III); si rileva altresì che per la maggior parte di questi le concentrazioni sono sotto la soglia di rilevabilità<sup>1</sup>

<sup>1</sup> unicamente presso il punto di campionamento ubicato immediatamente a valle dell'area "Merlo" è stato rilevato, nel maggio 2016, un caso di concentrazioni eccedenti tali limiti, riferiti al parametro Clorobenzene, non ripetutosi nelle campagne successive; peraltro, nel campione prelevato a monte dell'area Merlo (e quindi a valle dell'area A3) le concentrazioni di Clorobenzene sono risultate inferiori ai limiti di rilevabilità

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 6 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

## 2. Sintesi delle attività pregresse

Il Progetto di Bonifica approvato per l'area A3 prevedeva lo scavo dei terreni contaminati fino al raggiungimento degli obiettivi di bonifica (concentrazioni limite accettabili (CLA) del DM 471/99 per uso verde e residenziale); ad ulteriore garanzia, le operazioni eseguite hanno invece previsto ovunque l'asportazione dei materiali presenti fino al raggiungimento del substrato marnoso litoide. I lavori di bonifica delle aree golenali sono stati avviati nel 2008 e conclusi nel 2012.

La verifica della bonifica di ciascuna cella in area A3 e nelle aree pubbliche è avvenuta tramite attestazione congiunta della rimozione di tutti i terreni sovrastanti il substrato marnoso, della rimozione dell'orizzonte di marna alterata e del raggiungimento dello strato di marna integra tramite la redazione di verbali controfirmati dai responsabili di riferimento per la società appaltatrice (Saipem), la società appaltante (Syndial) e gli Enti di riferimento (Provincia di Savona e ARPAL).

In aggiunta, al fine di ottenere ulteriori garanzie sull'intervento eseguito ed in vista della certificazione della bonifica, a completamento dell'asportazione dei materiali presenti fino al raggiungimento del substrato marnoso litoide e del successivo riempimento con materiale idoneo, nelle aree golenali denominate "Basso Piave", "Pista di Collegamento" e "Collinetta Ovest", già nel 2010 furono effettuati carotaggi con prelievo ed analisi di campioni del terreno di riempimento. In tale periodo le operazioni di bonifica in area Collinetta Sud e Zona E erano ancora in via di completamento.

Al fine di completare la verifica della qualità del materiale utilizzato per la realizzazione della scogliera nelle aree non investigate con i sondaggi effettuati nel 2010, conformemente a quanto già fatto in quella occasione, in zona "Collinetta Sud" e "Zona E" sono stati eseguiti 23 perforazioni (18 sondaggi denominati S1÷S18 + ulteriori 5 perforazioni in corrispondenza di altrettanti piezometri sondaggi).

In accordo con il Protocollo<sup>2</sup> condiviso, sono stati prelevati e analizzati n° 30 campioni di terreno di riporto (campioni medi/puntuali rappresentativi della porzione non satura + campioni direttamente a contatto con il substrato marnoso – 1° metro).

<sup>2</sup> Protocollo tra il Commissario delegato, la Provincia di Savona, Arpa Liguria e Syndial, in attuazione del Protocollo di intesa per la reindustrializzazione del sito di Cengio siglato il 26/07/2006, per la definizione delle "Attività propedeutiche alla certificazione degli interventi

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 7 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>


Come previsto dal Protocollo di monitoraggio post-operam approvato e dalle successive note tecniche ("Sistema di monitoraggio post operam del sito Syndial di Cengio", rif. SPC00-BH-E-95444, Snamprogetti, Giugno 2008; "Nota tecnica per la realizzazione di sondaggi geognostici e n° 8 piezometri in Area A3 per il sistema di monitoraggio post-operam del sito di Cengio" URS, — Aprile 2014", si è provveduto alla realizzazione dei piezometri di monitoraggio post-operam di zona A3, con installazione di 8 triplette di piezometri in corrispondenza dei punti già prestabiliti e condivisi con gli Enti. Tali triplette sono state denominate come di seguito descritto, con l'aggiunta della lettera N dopo la sigla identificativa:

- Piezometro da 4 pollici installato in marna, distinto con il suffisso A (es. P35 NA), fenestrato per un metro a cavallo della quota di base del diaframma plastico.
- Piezometro da 4 pollici installato nel riporto, distinto con il suffisso B (es. P35 NB), fenestrato nella parte satura per circa 2/3 m.
- Piezometro da 2 pollici installato nel riporto, distinto con il suffisso C (es. P35 NC), anch'esso fenestrato nella parte satura per circa 2/3 m, utilizzabile solo per le misure freaticometriche.

La figura seguente mostra lo schema di installazione.

---

di bonifica e bonifica con misure di sicurezza del sito di interesse nazionale di Cengio-Saliceto" del 25/10/2006, in particolare nell'Allegato B – Cap. 3.1"

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 8 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

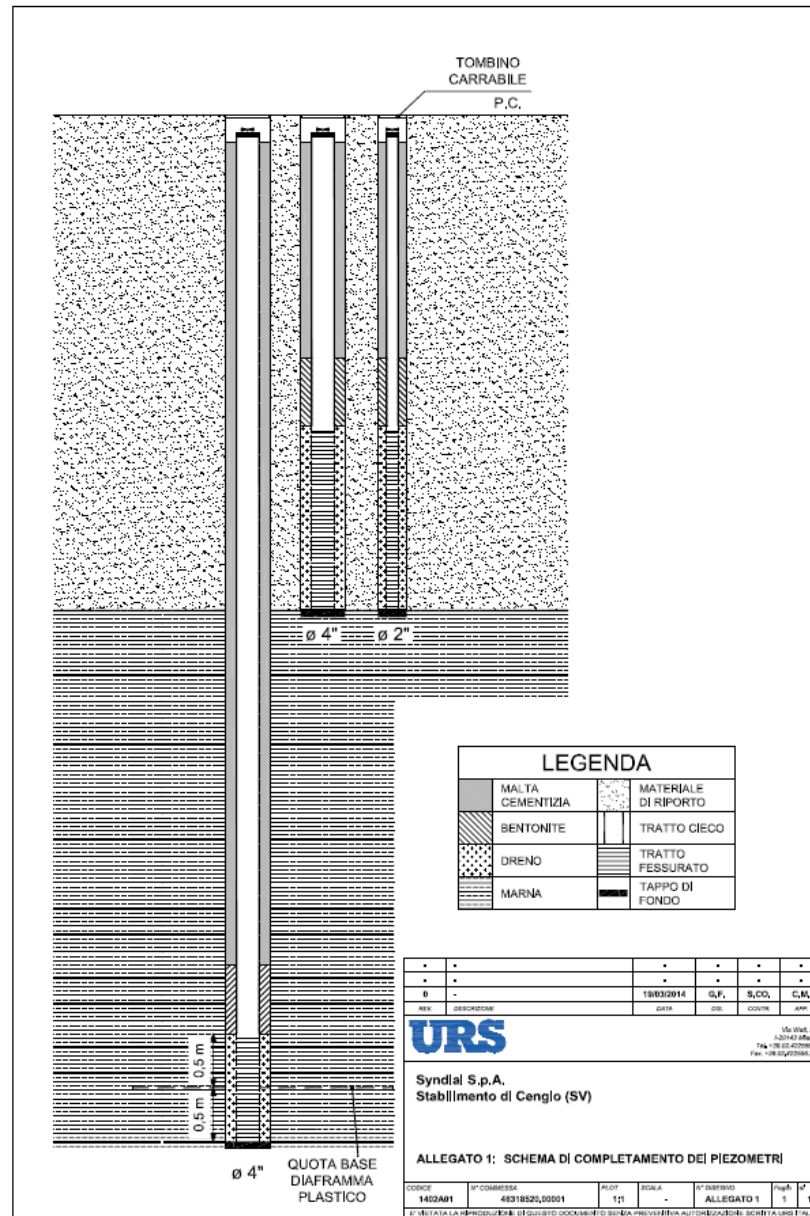


Figura 1: schema di completamento dei piezometri

Si ricorda inoltre che, al fine di condurre un approfondimento conoscitivo sulle condizioni dell'ammasso marnoso, oltre alle perforazioni eseguite per la messa in opera dei piezometri, sono state eseguite ulteriori 4



	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 9 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

perforazioni in marna, ubicate in posizione intermedia fra i piezometri di "Zona Parshall" e denominati con la sigla NEW 1÷4.

In allegato la tavola 1 mostra la localizzazione di tutti i punti piezometrici.

In corrispondenza di ciascun punto d'indagine (perforazioni eseguite per installazione piezometri in marna + sondaggi NEW 1÷4) sono stati prelevati campioni da sottoporre sia a Test di cessione in acqua deionizzata, sia ad analisi di laboratorio per la determinazione della conducibilità idraulica e dei parametri diffusivi. Sono stati inoltre svolte indagini per la determinazione idraulica su 19 campioni di marna.

Per verificare la funzionalità dei piezometri ed effettuare una prima valutazione del quadro idrochimico delle acque riscontrate, sono state eseguite anche 3 campagne di campionamento preliminari, di cui la prima in data 30/10/2014, la seconda in data 24/11/2014 e la terza in data 29/01/2015.

Le attività di campionamento, in accordo con gli Enti di controllo, sono proseguite anche nei mesi di Marzo (27/03/2015), Maggio (19/05/2015) e Giugno 2015 (15/06/2015).

Per ciascuna campagna eseguita, non è stato mai possibile campionare tutti i piezometri, a causa della scarsità di acqua all'interno di alcuni punti che ne impedisce il corretto campionamento. In ogni caso, laddove possibile, il campionamento è avvenuto previo spurgo dei piezometri.

In breve, il quadro emerso dai precedenti studi ha evidenziato (URS, luglio 2015):

- l'idoneità dei terreni di reinterro in Area A3 posati al termine delle operazioni di scavo e bonifica: tutte le analisi dei campioni di terreno di riporto hanno infatti mostrato valori di concentrazione conformi alle CLA per terreni ad uso residenziale ed ai limiti stabiliti per le sostanze non incluse nell'allegato 1 del DM 471/99<sup>(3)</sup>.
- la conferma delle assunzioni già definite in fase di progettazione del PoB sulle caratteristiche dell'ammasso marnoso che, di consistenza litoide, ha permeabilità molto bassa e non presenta piani di fratturazione aperti;
- la presenza di acque interstiziali in quantità variabile, ma comunque molto limitata, sia nel riporto sia nelle marne; l'acqua presente in questo ultimo comparto è compatibile con la presenza di microfessure nella marna. Le caratteristiche idrogeologiche (porosità, permeabilità) intrinseche della marna, non permettono di identificare

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 10 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

una "falda acquifera" secondo l'art. 54 del D.Lgs. 152/2006 (*"falda acquifera: uno o più strati sotterranei di roccia o altri strati geologici di porosità e permeabilità sufficiente da consentire un flusso significativo di acque sotterranee o l'estrazione di quantità significative di acque sotterranee"*);

- limitata capacità di rilascio della matrice intatta della marna sottoposta a test di cessione;

- l'efficienza del sistema di cinturazione, a cui è correlato un sistema di drenaggio interno, grazie all'evidenza di livelli piezometrici esterni al sito (misurati nel riporto) superiori a quelli interni, che indicano la presenza di un gradiente idraulico rivolto dalle aree esterne verso quelle interne.

Le conclusioni del precedente studio avevano quindi ipotizzato che la contaminazione residuale riscontrata nelle acque in area A3 sarebbe riconducibile all'accumulo, cessato negli anni settanta, di riporti di origine industriale con importanti volumi e spessori al di sopra della marna. Da tali riporti si sarebbe generato un percolato ricco di sostanze organiche e inorganiche che è possibile supporre si sia infiltrato nelle microfessure presenti nella marna, nelle quali tuttora in parte risiede in virtù della sua scarsa mobilità, conseguente alla bassissima permeabilità della marna stessa. Nonostante i riporti contaminati siano stati del tutto rimossi, tale situazione determina il permanere di uno stato di contaminazione residuale in area A3.

Le attività di monitoraggio sono comunque proseguite da Marzo 2015 senza interruzione, ma a fronte di confronti diretti con gli enti di controllo<sup>4</sup> si è provveduto a programmare delle specifiche "misure di sicurezza"<sup>5</sup> che, secondo quanto previsto dal DM 471/99 applicabile alla bonifica del sito di Cengio, garantiscano il monitoraggio delle condizioni idrauliche ed idrochimiche delle acque presenti in area A3 e l'assenza di rischio per la qualità delle acque del fiume Bormida, che costituisce l'unico potenziale bersaglio ambientale presente nei pressi del sito.

<sup>3</sup> Rif. doc. "Proposta di valori limite per uso commerciale ed industriale, per uso verde pubblico, privato e residenziale e per le acque sotterranee (DM 471/99) per composti non inclusi nell'allegato 1", modificata a seguito dei controlli effettuati dai Tecnici ANPA, ARPA Piemonte e ARPA Liguria. Giugno 2000.

<sup>4</sup> Verbale della Provincia del 23/07/2015 "a fronte della situazione di contaminazione cui sia molto difficile in questa fase porre rimedio, occorre tuttavia che l'azienda attui delle misure di sicurezza e di controllo anche qualora la contaminazione non costituisca un rischio per i recettori a valle del sito".

<sup>5</sup> D.M. 471/99, Art 2 punto g - **Misure di sicurezza**: gli interventi e gli specifici controlli necessari per impedire danni alla salute pubblica o all'ambiente derivanti dai livelli di concentrazione residui di inquinanti nel suolo, nel sottosuolo, nelle acque sotterranee e superficiali o dalla presenza di rifiuti stoccati sottoposti ad interventi di messa in sicurezza permanente, nonché le azioni di monitoraggio idonee a garantire, in particolare, il controllo nel tempo dell'efficacia delle limitazioni d'uso, qualora, pur applicando, secondo i principi della normativa comunitaria, le migliori tecnologie disponibili a costi sopportabili, la bonifica ed il ripristino ambientale non consentono di rispettare i valori di concentrazione limite accettabili stabiliti dal presente regolamento per la destinazione d'uso prevista dagli strumenti urbanistici o non sia possibile rimuovere la fonte inquinante costituita dai rifiuti stoccati

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 11 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

In primo luogo, si è avviato a partire da Luglio 2015 un monitoraggio intensivo nei piezometri in marna, tramite attività di spurgo quindicinale dei piezometri, recupero dei livelli statici e campionamento mensile degli stessi.

Oltre a ciò sono state indicate una serie di indagini di approfondimento al fine di raccogliere e disporre di ulteriori elementi necessari all'interpretazione e alla conferma del quadro idrogeologico e chimico che si era delineato. In particolare:

a) monitoraggio idrochimico di dettaglio ed analisi dei livelli del Fiume Bormida, nei piezometri nel riporto, nella marna e all'interno del muro di contenimento e ricostruzione dei reciproci rapporti;

b) prove di pompaggio prolungato a portata costante nel materiale di riporto con campionamenti di acque ad intervalli di tempo regolari, allo scopo di raccogliere elementi necessari alla conferma e all'interpretazione del quadro idrogeologico;

c) indagini di carattere geochimico e caratterizzazione isotopica delle acque e di alcuni ioni disciolti ( $^2\text{H}$  deuterio,  $^{18}\text{O}$ ,  $^3\text{H}$  trizio,  $^{14}\text{C}$  del carbonio inorganico disciolto,  $^{18}\text{O}$  e  $^{34}\text{S}$  del solfato disciolto) per migliorare la comprensione dei rapporti fra le acque interne ed esterne al sito, e analisi CSIA (Compound Specific Isotope Analysis) per l'individuazione di rapporti isotopici del Carbonio e del Cloro dei contaminanti nelle acque prelevate in punti all'interno e all'esterno del sito, al fine di comprendere il loro grado di relazione;

d) indagini SEM, TEM e XRD, al fine di evidenziare, nei campioni di marna, la presenza di fasi cristalline e/o precipitati in eventuali microfratturazioni, di tracce microbiche sulle pareti, di fasi cristalline e precipitati;

e) ricostruzione di un modello idrogeologico numerico del sito che rappresenti il substrato marnoso, le alluvioni ed i riporti soprastanti, i rapporti tra queste ed il fiume Bormida, nonché le opere di contenimento e di drenaggio delle acque interne del sito.

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 12 a 12
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

### 3. Sintesi degli esiti delle indagini di approfondimento

Di seguito verranno brevemente riassunte le conclusioni a cui sono giunti i diversi studi specialistici condotti dal Gruppo di Lavoro costituito oltre che dai tecnici Syndial da :

- Politecnico di Milano per le indagini geochimiche ed isotopiche
- Università di Ferrara per le indagini SEM, TEM e XRD
- Ambiente - Hydrodata per la parte di modellizzazione e reportistica monitoraggio post operam
- Politecnico di Torino.

I documenti specialistici delle singole attività svolte presentati insieme alla presente nota sono:

- "Caratterizzazione geochimica e isotopica delle acque emunte dalla rete piezometrica di sito" – 120007-ENG-R-RV-3650 Politecnico di Milano
- "Simulazioni numeriche di flusso e trasporto degli inquinanti per l'analisi dei rapporti tra acque interne ed esterne del sito, il F. Bormida e le opere di contenimento " - Ambiente - Hydrodata 120007-ENG-R-RV-4654
- "Relazione esiti indagini XRD-SEM-TEM su campioni di marna prelevati in Area A3" 120007-ENG-R-RV-1153 Università di Ferrara
- "Sito di Cengio - Prova di pompaggio 72 ore eseguita in Area A3 – Relazione Tecnica "120007-ENG-R-RV-4653

#### 3.1 Monitoraggi idrochimici e piezometrici effettuati in Area A3

L'area A3 è separata dalle contigue zone interne al sito (Area A1 e A2) da un muro di contenimento e da un diaframma plastico contenente un telo in HDPE accoppiato ad una trincea drenante. Tale diaframma ha una profondità media di 12 metri da p.c.. con punte fino a oltre 20 m e risulta intestato per diversi metri entro la marna di base. Come precedentemente descritto, in area A3 sono stati perforati e installati n. 8 gruppi di piezometri (disposti in 8 "triplette", per un totale di 24 piezometri) con la finalità di poter disporre, nella stessa posizione, di una misura e un controllo selettivo dei parametri chimico-fisici sia all'interno dello strato impermeabile (corpo marnoso di base) sia all'interno dello stato permeabile (riporto).

La tabella seguente riporta l'elenco dei piezometri.

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 13 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

Sigla	Tipo di strumentazione presente	Note
P_19 bis N_A	Sonda multi parametrica	Sonda spostata da vecchio P_19 bis a nuovo P_19 bis N_A
P_19 bis N_B	Sonda multi parametrica	Installata nuova sonda multi parametrica
P_19 bis N_C	n.n.	<i>Piezometro (2") di scorta</i>
P_31 bis N_A	Sonda multi parametrica	Sonda spostata da vecchio P_31 bis a nuovo P_31 bis N_A
P_31 bis N_B	Sonda multi parametrica	Installata nuova sonda multi parametrica
P_31 bis N_C	n.n.	<i>Piezometro (2") di scorta</i>
P_32 N_A	Sonda multi parametrica	installata "ex novo" nel P_32 N_A
P_32 N_B	Sonda multi parametrica	Installata nuova sonda multi parametrica
P_32 N_C	n.n.	<i>Piezometro (2") di scorta</i>
P_33 N_A	Livello in automatico	Installata nuova sonda multi parametrica
P_33 N_B	Livello in automatico	Installata nuova sonda multi parametrica
P_33 N_C	n.n.	<i>Piezometro (2") di scorta</i>
P_34 N_A	Livello in automatico	Installata nuova sonda multi parametrica
P_34 N_B	Livello in automatico	Installata nuova sonda multi parametrica
P_34 N_C	n.n.	<i>Piezometro (2") di scorta</i>
P_35 N_A	Livello in automatico	Installata nuova sonda multi parametrica
P_35 N_B	Livello in automatico	Installata nuova sonda multi parametrica
P_35 N_C	n.n.	<i>Piezometro (2") di scorta</i>
P_36 N_A	Livello in automatico	Installata nuova sonda multi parametrica
P_36 N_B	Livello in automatico	Installata nuova sonda multi parametrica
P_36 N_C	n.n.	<i>Piezometro (2") di scorta</i>
P_37 N_A	Livello in automatico	Installata nuova sonda multi parametrica
P_37 N_B	Livello in automatico	Installata nuova sonda multi parametrica
P_37 N_C	n.n.	<i>Piezometro (2") di scorta</i>

Si segnala che a seguito dell'alluvione avvenuta in data 24/11/2016 alcuni piezometri sono stati danneggiati; in particolare, è stato necessario ripерforare le triplette P\_33 e P\_34. I nuovi piezometri sono stati realizzati in linea rispetto la posizione dei precedenti, andati distrutti a causa dell'evento alluvionale.

L'Area A3 è soggetta ad un monitoraggio idrochimico e piezometrico. In particolare, su tutti i piezometri della rete (16 in totale, con l'esclusione degli 8 piezometri con il suffisso C utilizzati solo per le misure freaticometriche) sono eseguiti, previo spurgo nelle 24-72 ore precedenti, campionamenti delle acque dei piezometri con cadenza mensile, in presenza e condivisione con i tecnici di ARPAL e della Provincia di Savona. Il monitoraggio

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 14 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

idrochimico prevede la determinazione di circa 270 parametri (tutti i parametri previsti dal D.M 471/99 e D.Lgs 152/06 più sostanze sito-specifiche).

I risultati del monitoraggio effettuato su tutta la rete piezometrica, inclusa quindi quella di area A3, sono stati presentati nel report semestrale "Sito di Cengio (SV) - Risultati del monitoraggio post operam (area A2-A4-Area Merlo) e monitoraggio Area A3 e fiume Bormida" Gennaio-Giugno 2016" Hydrodata AMBIENTE. 120006-ENG-R-RV-4650" già inviato in data 15/02/2017 Prot. PROG//%/16/CP.

Per ciò che riguarda il monitoraggio piezometrico, 16 piezometri sono strumentati per il rilievo in automatico e in continuo del livello piezometrico (frequenza massima di acquisizione oraria), di cui n. 6 sono in grado di fornire in continuo anche i parametri chimico-fisici (mediante sonda multi parametrica). A partire da dicembre 2015, sono effettuate anche rilevazioni manuali del livello piezometrico con cadenza settimanale (contestualmente al rilievo del livello idrico dinamico nei pozzi in emungimento all'interno del muro di cinta, accompagnato dalla misura dei livelli del Fiume Bormida).

E' importante evidenziare inoltre che sui piezometri in marna in Area A3 viene effettuato anche uno spurgo quindicinale a partire da Luglio 2015, come da protocollo condiviso con il Tavolo Tecnico (ARPAL-Provincia di Savona).

Il quadro delle sostanze osservate in concentrazioni superiori ai limiti normativi è sinteticamente il seguente :


Il quadro delle sostanze osservate in concentrazioni superiori ai limiti normativi è sinteticamente il seguente:

- Per quanto riguarda i parametri generali si osservano superamenti, per altro saltuari, solo per i Solfati. Il pH è spesso fortemente basico nei piezometri impostati nella marna.
- Tra i metalli sono stati osservati superamenti diffusi dei limiti normativi per il solo Arsenico; sono risultati saltuariamente oltre detti limiti Alluminio, Ferro, Manganese e Antimonio, risultano infine conformi Selenio, Cromo (sia totale sia esavalente), Rame, Cadmio, Nichel, Piombo, Zinco e Mercurio.
- Tra i solventi aromatici risultano superamenti della CSC per il Benzene e saltuariamente per il Toluene e gli Xileni. Sono invece conformi gli altri composti appartenenti a detto gruppo.
- Gli Alifatici Alogenati Cancerogeni risultano conformi ai relativi limiti normativi per gran parte dei composti appartenenti a detti gruppi. Superamenti delle relative CSC sono stati osservati in particolare per il 1,1,2,2-tetracloroetano, il Tricloroetilene, il Tetracloroetilene e, conseguentemente, per la sommatoria alifatici alogenati cancerogeni.

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 15 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

- Gli alifatici alogenati non cancerogeni sono generalmente conformi ai limiti normativi. Superamenti sono stati osservati sul solo piezometro P37 relativamente al 1,2dicloroetilene.
- Dei 79 analiti facenti parte delle Ammine aromatiche solo alcuni, indicativamente 5, sono stati osservati in modo relativamente diffuso in concentrazioni superiori alle rispettive CSC. Si tratta soprattutto di cloroaniline. Generalmente i superamenti si hanno sul solo piezometro P31bis\_N\_A, presso cui si hanno i valori di gran lunga maggiori, e solo occasionalmente i composti in oggetto sono osservati in concentrazioni superiori alle rispettive CSC negli altri punti di monitoraggio.
- I Nitrobenzeni sono stati trovati, in concentrazioni superiori alle CSC, in vari punti di monitoraggio dell'area A3, con particolare riferimento ai Nitroclorobenzeni. Anche in questo caso i valori di gran lunga più elevati sono stati osservati nel piezometro P31bis\_N\_A impostato nel substrato marnoso.
- Tra i composti aromatici alogenati sono stati osservati superamenti relativamente diffusi dei limiti normativi per Clorobenzene e 1,4-diclorobenzene e saltuari per Esaclorobenzene e 1,2,4,5-tetracloroetilene. Anche in questo caso i valori di gran lunga più elevati sono stati osservati nel piezometro P31bis\_N\_A impostato nel substrato marnoso.
- I Fenoli sia clorurati sia non clorurati sono risultati sempre conformi ai relativi limiti normativi, con una sola eccezione legata ad un unico superamento della CSC per il Pentaclorofenolo, relativo al "solito" piezometro P31bis\_N\_A.
- Gli IPA sono risultati generalmente conformi ai limiti normativi. Nel semestre di riferimento i superamenti hanno riguardato un unico punto di monitoraggio, anche qui il P31bis\_N\_A, in relazione al solo Naftalene.
- I composti Antrachinosolfonici sono risultati conformi ai limiti normativi mentre tra il Solfonici i superamenti sono stati osservati piuttosto diffusamente per alcuni tipi di acido Naftalensolfonico, per l'acido Sofanilico e per l'Acido Metanilico, sia nei piezometri impostati nella marna sia in quelli che filtrano il riporto.
- I PCB sono risultati conformi ai limiti normativi.
- Tra i numerosi composti aggiuntivi sono state osservate significative non conformità esclusivamente per alcuni Nitrotolueni, per il 2,3-dicloronitrobenzene e i Tetraclorobenzeni. Sono stati osservati anche valori moderatamente elevati di Azoto ammoniacale.



	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 16 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

### 3.2 Misure piezometriche lungo sezione Fiume Bormida-aree interne

L'analisi dei livelli del Fiume Bormida rispetto ai livelli misurati nelle aree interne in corrispondenza dell'asse della trincea drenante, ha confermato quanto già messo in luce dallo studio URS del 2015<sup>6</sup> (vedi par. 4.3). Attraverso il monitoraggio condotto nell'arco di un intero anno, a partire da Luglio 2015, si evidenzia infatti come il livello del Fiume Bormida sia, nel suo complesso, superiore a quello misurato all'interno, il che garantisce l'impossibilità di un deflusso dall'interno verso l'esterno, in virtù dei gradienti piezometrici. I risultati di dettaglio di tale attività sono riportate nella relazione "Simulazioni numeriche di flusso e trasporto degli inquinanti per la verifica di funzionalità della barriera di contenimento", al quale si rimanda per approfondimenti.

Osservando nel dettaglio i dati di livello disponibili del Fiume Bormida, dei piezometri facenti parte del monitoraggio in area A3 (A in marna, B nel riporto) e il dato relativo all'asse trincea, si può genericamente osservare che:

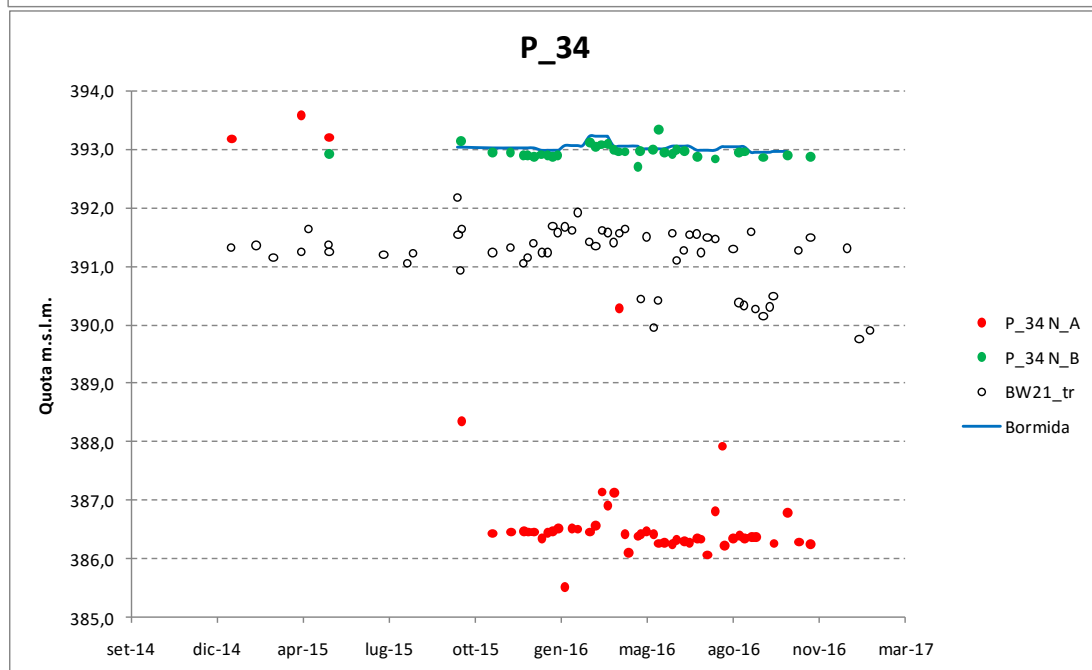
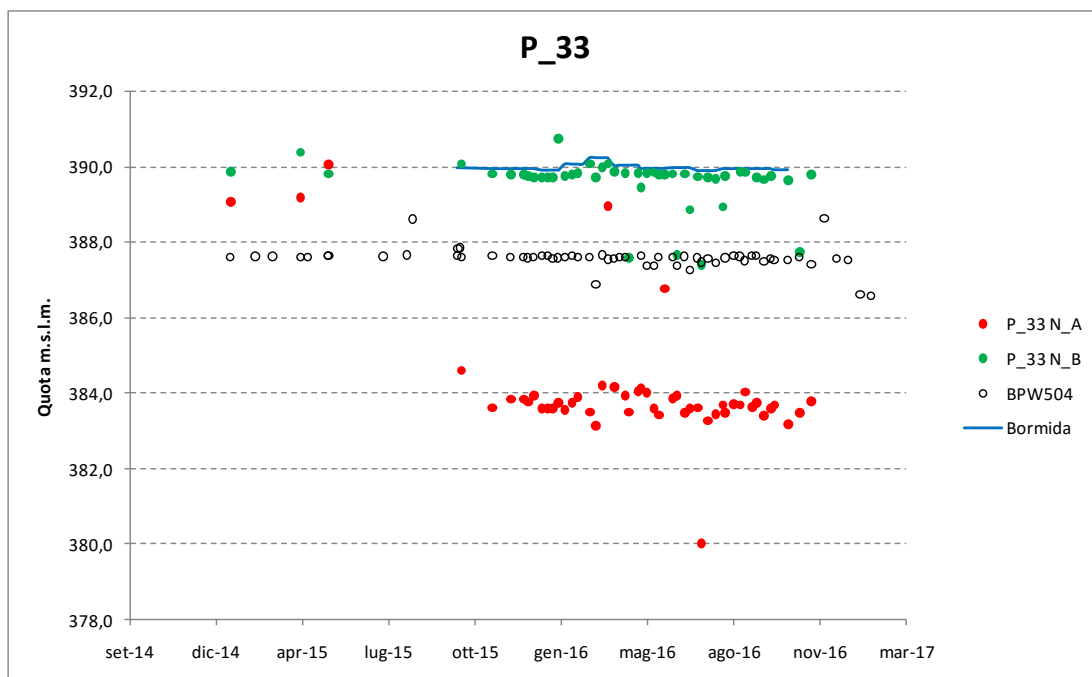
- il livello nel riporto esterno è coerente con quello del Fiume Bormida da cui, in buona parte, è governato (si veda ad esempio P33, P34 nelle Figure 2a,b sottostanti e il confronto con i risultati isotopici);
- gli spurghi quindicinali condotti nei piezometri in marna influenzano significativamente la variazione temporale dei livelli; infatti a partire da luglio 2015 si nota come i livelli in tutti i piezometri siano generalmente molto più bassi e non riescano a recuperare quelli naturali visibili in precedenza. Tale fatto conferma la scarsa capacità idraulica della marna.

Nei piezometri P31bisA e P36A questo effetto di "depauperamento" si osserva, ma con minore entità; tali piezometri, e in particolare il P31bisA, come si vedrà poco avanti (studio isotopico), sono gli unici in cui si riscontra una certa capacità di ricarica, benché molto limitata, nella matrice marnosa (vedi Figura 2c).

<sup>6</sup> Si segnala che a Febbraio/Marzo 2016 e' stata effettuata un'attività topografica relativa al nuovo caposaldo che ha conseguentemente modificato le quote di riferimento dei piezometri e dei pozzetti di controllo all'interno della cintura di drenaggio..



	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 17 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>



	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 18 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

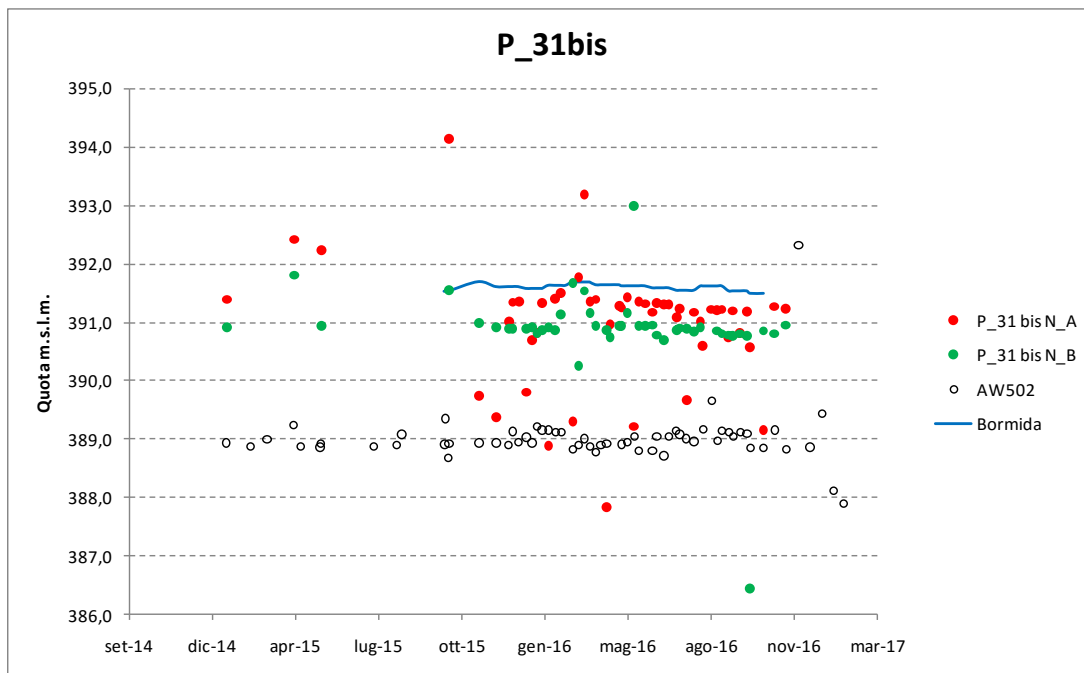


Figura 2: Confronto lungo sezione tra i livelli in Bormida, piezometri in area A3 (A, in marna; B, ne riporto) e dato in corrispondenza dell'asse trincea (pallino vuoto). Si osservi come prima del luglio 2015 (inizio spurghi quindicinali), i livelli in marna fossero più elevati (generalmente anche più di quelli nel riporto) a partire da tale data, invece, sono soggetti a notevole abbassamento e non recuperano il livello naturale. Tale effetto è molto meno accentuato nel piezometro P31bisA (in cui il livello rimane ancora spesso più elevato del rispettivo piezometro nel riporto) soggetto, dunque, ad una ricarica da parte del substrato marnoso più significativa rispetto agli altri. Si osservi anche come i livelli nel riporto esterno siano per lo più influenzati da quello nel F. Bormida che è tendenzialmente leggermente più elevato.)

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 19 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

### 3.3 Prove di pompaggio a portata costante

Allo scopo di raccogliere elementi necessari alla conferma e all'interpretazione del quadro idrogeologico e chimico del comparto "materiale di riporto" e "marna" dell'area A3, sono state effettuate delle prove di pompaggio a portata costante in 4 piezometri intestati nel riporto (P37, P32, P31bis, P33), e contestualmente, agli intervalli previsti di 3, 6, 12, 24, 48 e 72 ore, sono stati prelevati i campioni di acqua sottoposti ad analisi, per la valutazione delle eventuali variazioni del chimismo indotte dal pompaggio<sup>7</sup>.

La prova di pompaggio è stata effettuata, secondo quanto previsto nella specifica URS 2015, per 72 ore ad una portata ottimale, tale da non determinare un prosciugamento del piezometro; dai monitoraggi che nel frattempo si sono eseguiti nei 4 piezometri oggetto della prova di pompaggio si è avuta evidenza di scarsa presenza di acqua in foro già in partenza. Le misure sono state prese tramite datalogger nel piezometro da 2 pollici intestato nel riporto (C) e in marna (A). Per i piezometri 37A, 32A e 33A non si è evidenziata correlazione tra questi e il corrispettivo piezometro di controllo (C).

Durante la prova effettuata nel quarto piezometro, invece, si è osservata una risposta differente. Infatti, nel piezometro in marna P31bisA, durante l'arco della prova, si è verificato un progressivo abbassamento del livello, in risposta all'emungimento effettuato nel piezometro intestato nel riporto (P31bisB).

A conclusione di tutte le indagini svolte, la spiegazione di tale comportamento può essere individuata nel maggior grado di microfessurazione della marna in corrispondenza di tale piezometro. Infatti, a differenza degli altri piezometri, che sono intestati in un settore della marna che risulta, in base alle stratigrafie delle perforazioni eseguite per la realizzazione degli stessi piezometri, molto compatto, il P31bisA risulta collocato in una zona interessata da fratturazione (vedi la sua stratigrafia), caratterizzata pertanto da una capacità di comunicazione che, benché estremamente modesta, è comunque osservabile. In tale zona si possono dunque propagare le sollecitazioni di pressione che hanno indotto, in presenza del pompaggio nel soprastante piezometro, un richiamo dalla marna (che ha già un livello naturalmente più elevato) verso il riporto, con relativo effetto piezometrico. In tutti gli altri punti, invece, dove la marna risulta non trasmissiva, tale effetto non si risente.

Tali risultati consolidano dunque ulteriormente il modello concettuale che individua nella marna un comparto refrattario alla circolazione idrica, coerentemente con i risultati delle indagini in marna e degli isotopi di seguito

<sup>7</sup> Durante il pompaggio si sono evidenziate concentrazioni in linea con i trend storicamente rilevati per quel dato piezometro. In alcuni casi la concentrazione in condizioni statiche è risultata inferiore rispetto a quella in condizioni dinamiche (es. P32B).

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. <b>20</b> a <b>42</b>
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

descritti. I risultati delle prove di pompaggio sono contenuti in dettaglio nella relazione "Sito di Cengio - Prova di pompaggio 72 ore eseguita in Area A3 – Relazione Tecnica "120007-ENG-R-RV-4653

### 3.4 Le indagini sulla marna: indagini SEM, TEM e XRD

Al fine di evidenziare nei campioni di marna eventuali anomalie mineralogiche, indirettamente sintomatiche di anomalie chimiche come ad esempio la presenza di inquinanti, l'Università di Ferrara ha condotto le indagini XRD, SEM e TEM su un set di 10 campioni definiti e scelti tra le carote estratte durante la realizzazione dei piezometri. Successivamente a conferma dei risultati ottenuti sono state effettuate delle ulteriori analisi diffrattometriche sugli ultimi nove campioni di carote ancora custoditi. In entrambe le sessioni di analisi è stata posta particolare attenzione ai tratti interessati dalla presenza di discontinuità (in particolare se contenenti evidenza di contaminazione).

In sintesi i risultati ottenuti dalle indagini sono i seguenti:

- Analisi diffrattometrica (XRD): in entrambe le indagini ha evidenziato una composizione mineralogica per tutti i campioni tipica di questo litotipo. La pirite (solfuro di ferro) è risultata diffusamente presente come minerale accessorio (<0.4 % in peso). Tale presenza è interpretabile come il prodotto di trasformazione, anche mediato da attività batterica, a partire da frustoli vegetali intrappolati nel sedimento calcareo-argilloso poi sottoposto a diagenesi. La presenza di zolfo sia in forma ridotta che ossidata potrebbe essere riconducibile ad un mutamento delle condizioni ossidoriduttive. Tale mutamento potrebbe essere intervenuto già in fase diagenetica o più probabilmente in una fase successiva.
- Osservazioni e microanalisi in microscopia elettronica a scansione (SEM): è la tecnica che rileva con maggiore affidabilità anomalie mineralogiche (eventualmente, in modo indiretto, anomalie chimiche) se presenti in proporzioni abbondanti (i.e. tipicamente > 1 % in peso). Le analisi hanno evidenziato unicamente la presenza di strutture di pirite framboidale, di interesse in quanto le zone interessate dai fenomeni di piritizzazione/solfatazione, anche in considerazione della natura porosa, potrebbero potenzialmente costituire possibili ricettacoli di fasi di neoformazione quali precipitati da soluzioni inquinanti. Le aree così individuate sono state quindi sottoposte all'osservazione con stereomicroscopio ottico.
- osservazioni e microanalisi in microscopia elettronica a trasmissione (TEM): hanno permesso di confermare la presenza delle fasi cristalline già identificate con XRD, oltre ad evidenziare alcuni minerali presenti come accessori in bassissime proporzioni. Non sono state rilevate composizioni chimiche che possano ricondurre a fasi cristalline di neoformazione da precipitazione di soluzioni contenenti metalli

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 21 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

pesanti e/o inquinanti. Considerando la natura detritica dei sedimenti costituenti la marna e la presenza di zircone, anche il minerale a chimismo complesso contenete terre rare, osservato in alcune analisi, può essere plausibilmente ricondotto ad una fase facente parte del corredo naturale di minerali accessori del sedimento.

La finalità ultima delle analisi XRD-SEM-TEM condotte sulle marne di Cengio è stata quella di valutare la presenza all'interno della marna di fasi cristalline trasformate e/o di neoformazione generatesi dall'interazione dei minerali primari con acque cariche di inquinanti permeanti la marna e/o dalla precipitazione di sali (solubili) da soluzioni sovrassature di elementi inquinanti. Tali tecniche hanno permesso di studiare la composizione mineralogica e le caratteristiche tessiturali dei campioni di marna a diverse scale di osservazione (XRD: analisi di tipo bulk su campioni macinati, rappresentativa di un ampio volume di materiale, è la tecnica che rileva con maggiore affidabilità anomalie mineralogiche, indirettamente chimiche, se presenti in proporzioni abbondanti i.e. tipicamente > 1% in peso; SEM: analisi tessiturali e microanalitiche alla microscala su campioni non macinati, rappresentativa di microvolumi, può individuare anomalie chimiche ma non mineralogiche; TEM: analisi tessitura e analitica alla nanoscala, eseguibile su microvolumi di campione macinato e non, non è rappresentativa del volume dell'intero campioni ma solo di micrositi, può individuare anomalie chimiche e mineralogiche).

Dai risultati delle analisi eseguite sui dieci campioni di marna da sondaggio selezionati non è emersa alcuna evidenza che la composizione mineralogica (e chimica) delle marne studiate differisca significativamente da quella della marna originaria; in altri termini non sono state individuate fasi cristalline derivanti da trasformazione e/o neoformazione indotte da un possibile contatto prolungato con acque cariche di elementi inquinanti. Va precisato però che l'osservazione preliminare delle carote di sondaggio ha mostrato che tutti i dieci spezzoni di carote si presentano compatti, privi di evidenti fratturazioni, fessurazioni, discontinuità planari, bande di colore, ecc. cioè di quelle caratteristiche che possano aver rappresentato vie localizzate di diffusione delle soluzioni inquinanti. Allo stesso tempo la tessitura stratificata compatta della marna dovuta agli abbondanti minerali argillosi si associa tipicamente ad una permeabilità molto bassa della roccia non fratturata tale da escludere che sia avvenuta una permeazione diffusa e capillare all'interno della roccia compatta; sono da escludersi in particolar modo possibili linee di flusso verticali.

Le analisi hanno permesso di escludere pertanto la presenza di una mineralizzazione pervasiva indotta da acque inquinate di ampi volumi di marna. Non si può comunque escludere l'eventualità che la mineralizzazione possa essere avvenuta lungo fratture e discontinuità locali che nessuno dei dieci sondaggi analizzati è stato in grado di intercettare a causa della bassa incidenza statistica di tali strutture localizzate.

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 22 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

### 3.5 Caratterizzazione geochimica e isotopica delle acque

Per meglio comprendere la circolazione idrica sotterranea e la possibile origine della contaminazione residuale in area A3, volendo usare dei dati empirici per escludere un eventuale contributo attuale dalle zone interne all'opera di contenimento, è stato adottato un approccio geochimico e multi-isotopico<sup>8</sup>.

Nello specifico attraverso l'approccio proposto si sono perseguiti tre obiettivi distinti:

- 1) la caratterizzazione delle principali fonti di ricarica del sistema idrogeologico in studio;
- 2) la caratterizzazione delle relazioni acqua/matrice dell'acquifero, in modo tale da meglio definirne i percorsi e la circolazione idrica.
- 3) l'individuazione dell'origine delle sostanze inquinanti organiche che si rinvenivano in sito e la relazione di queste tra i settori esterni ed interni all'opera di contenimento.

La circolazione idrica sotterranea è stata indagata considerando il tempo medio di residenza, grazie all'utilizzo dei dati di trizio (<sup>3</sup>H) e <sup>14</sup>C del DIC (Carbonio Inorganico Disciolto), e le fonti di ricarica, usando invece dati di deuterio (<sup>2</sup>H) e <sup>18</sup>O. Anche se non per tutti i piezometri, l'elaborazione dei dati evidenzia due comportamenti distinti: una circolazione più profonda, caratteristica delle acque nel comparto marna, caratterizzata da tempi medi di residenza più lunghi e aree di ricarica non locali; una circolazione più superficiale tipica delle acque del comparto interno e del riporto, caratterizzata da tempi di residenza minori, e ricarica locale dovuta alle precipitazioni e al contributo delle acque superficiali del fiume Bormida, come già desumibile dalla relazione tra i livelli idrici su richiamata (vedi paragrafo 5).

In particolare il trizio ha mostrato per i piezometri in marna 31bisA e 36A valori inferiori al limite di rilevabilità, confermando una circolazione idrica profonda e con tempi medi di residenza superiori almeno ai 50-60 anni. Per

<sup>8</sup> Gli isotopi sono elementi con lo stesso numero di elettroni e protoni (stesso numero atomico) ma diverso numero di neutroni (diversa massa atomica). L'isotopo contenente il numero maggiore di neutroni viene detto "pesante" o, viceversa, "leggero" e il loro rapporto, definito come R, rappresenta il rapporto isotopico assoluto. Gli isotopi possono essere stabili, come nel caso del Deuterio, del <sup>13</sup>C e del <sup>37</sup>Cl, oppure radioattivi. In via del tutto generale gli isotopi stabili vengono usati soprattutto per comprendere l'origine di un composto (acqua o contaminante) mentre quelli radioattivi per la datazione. Poiché il rapporto tra isotopi leggeri e pesanti in un determinato composto dipende dalla materia prima e dai processi che l'hanno generata, nel caso del Compound Specific Analysis (CSIA), attraverso le analisi di <sup>13</sup>C e <sup>37</sup>C, si è in grado di evidenziare l'esistenza di eventuali fonti diverse per una stessa sostanza; inoltre poiché gli isotopi tendono a reagire in

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 23 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

il 31bisA, anche i dati di 14C del DIC indicano tempi di residenza di parecchie decine di anni. I risultati di <sup>2</sup>H e <sup>18</sup>O per il comparto marna limitatamente al piezometro 31bisA mostrano valori particolarmente impoveriti, confermando una circolazione molto più profonda rispetto ai comparti superficiali.

Per quanto riguarda gli altri piezometri, la limitata capacità di ricarica dovuta alla compattezza della marna ha reso i dati isotopici meno significativi, in quanto molto probabilmente influenzati dalle minime infiltrazioni di acque superficiali che avvengono attraverso la cementazione esterna dei piezometri stessi.

Per meglio comprendere eventuali relazioni tra i diversi comparti si sono inoltre utilizzati alcuni soluti disciolti nelle acque come "traccianti naturali", in particolare sono stati considerati i solfati che si presentano con concentrazioni più elevate all'interno. Dai diagrammi di Piper, inoltre, è evidente la distinzione nel chimismo delle acque appartenenti ai diversi comparti: considerando la distribuzione e le concentrazioni dei soluti, le acque in marna si distinguono nettamente, appartenendo ad una facies tipica di acque di origine marina o comunque di circolazione profonda ed antica. La facies delle acque dei riporti nei comparti (A3 e A2) è invece rappresentativa di acque sotterranee di circolazione superficiale e poco mineralizzate, a differenza della facies in A1, per la quale esiste un forte arricchimento di SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> in seguito a percolazione ed infiltrazione da residui di lavorazione.<sup>9</sup>

Molto significativi sono anche i risultati di <sup>18</sup>O e <sup>34</sup>S dei solfati, che si differenziano, denotando un'origine diversa, per le acque dei piezometri interni (aree A1 e A2) da quelli in area A3, siano essi in marna (A) siano essi nel riporto (B). In particolare, il fatto che la composizione isotopica di <sup>18</sup>O e <sup>34</sup>S misurata nel comparto esterno mostri valori impoveriti (ovvero più negativi) rispetto ai valori misurati nel comparto interno (settore A1 e A2) contrasta con l'ipotesi di una provenienza dei solfati dall'interno verso l'esterno<sup>10</sup>. Opposta invece è la situazione tra il comparto marna e riporto in area A3, per la quale i valori simili di concentrazione e di composizione isotopica del solfato indicano una potenziale continuità tra i due comparti. Sono evidenti inoltre, per il comparto marna, processi di solfato riduzione particolarmente per i piezometri P36 e P31bis. Tale aspetto è compatibile con processi biodegradativi della contaminazione in condizioni fortemente anossiche, risultato questo coerente con quanto già osservato nel contesto dell'analisi minerologica illustrata nel precedente paragrafo.

---

modo leggermente diverso nei processi chimici, fisici e biologici le modifiche del rapporto isotopico di un composto una volta immesso nell'ambiente può essere diagnostico dei processi biodegradativi subiti.

<sup>9</sup> Con riferimento alla richiesta di chiarimenti formulata dalla Commissione di Collaudo nell'incontro del 28/06/2016 in merito alla presentazione dei risultati preliminari dello studio, si precisa che i dati geochimici risultano indicativi soprattutto della diversa circolazione delle acque contenute nelle marni rispetto alle acque delle aree interne (A1 e A2).

<sup>10</sup> Eventuali processi di biodegradazione possono far variare la composizione isotopica, sia del <sup>18</sup>O che del <sup>34</sup>S, ma solo nella direzione di un arricchimento dell'isotopo pesante a spese dell'isotopo leggero, ovvero ragionando in ‰, verso valori più positivi/meno negativi. Lo stesso vale per gli isotopi del Carbonio e del Cloro nei composti organici quali i composti clorurati.



	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 24 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

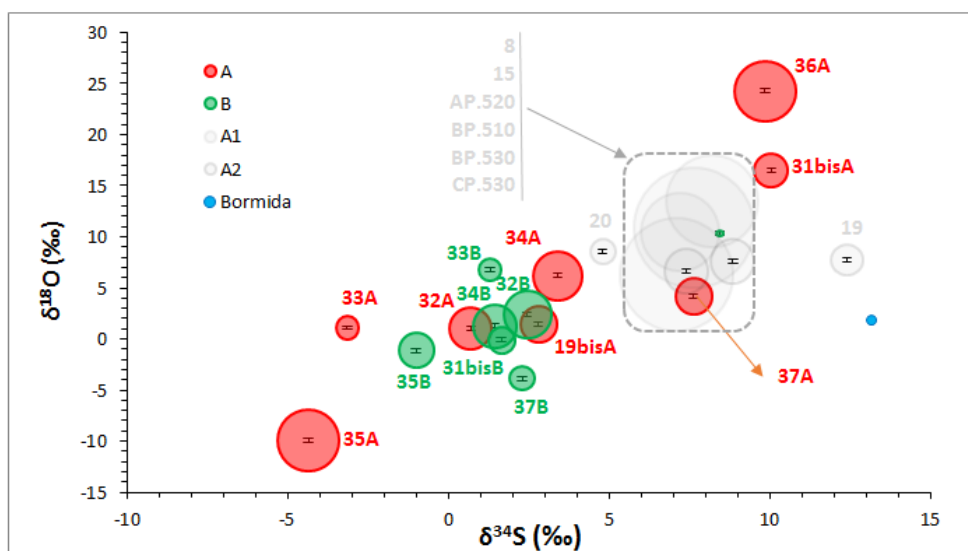
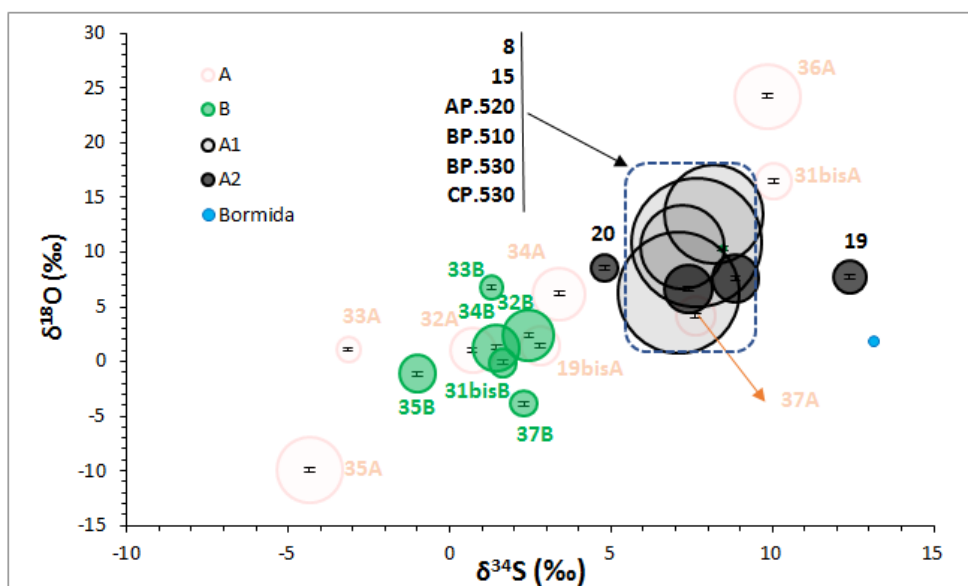


Figura 3 - risultati di  $^{18}\text{O}$  e  $^{34}\text{S}$  del solfato disciolto, dati di Marzo e Giugno: in verde sono rappresentati i valori per piezometri B, in rosso A e in nero e bianco i piezometri per le aree A1 e A2 rispettivamente; la grandezza dei simboli è proporzionale alla concentrazione del solfato. Per maggior comprensione sono considerati, nel grafico in alto, i confronti tra i dati nel riporto interno e quelli nel riporto esterno (ponendo quelli in marna in trasparenza) e nel grafico sotto i dati del riporto e della marna in area A3. Si osservi come i dati relativi al riporto (b) in area A3 abbiano sempre valori diversi e più impoveriti per Ossigeno e Zolfo rispetto ai valori registrati nei piezometri in area A1 e A2 dando evidenza che non possono derivare da essi. I dati in marna sono molto più distribuiti per i probabili effetti di biodegradazione già osservati per questa matrice che comportano un arricchimento, visibile in particolare per il P36A e il P31bis.



	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 25 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

Per ultimo, l'origine e la distribuzione degli inquinanti è stata studiata attraverso le analisi isotopiche per Carbonio e Cloro su alcuni contaminanti caratteristici ritrovati sia nelle aree interne sia in quelle esterne. A dispetto della grande variabilità dei dati di concentrazione, si è osservato come i segnali isotopici nelle due campagne condotte (Marzo e Giugno 2016) siano rimasti pressoché invariati. Un simile risultato permette di utilizzare  $^{13}\text{C}$ -CSIA (Compound Specific Isotope Analysis sul Carbonio) e  $^{37}\text{Cl}$ -CSIA (Compound Specific Isotope Analysis sul Cloro) in maniera "solida" al fine di individuare eventuali differenze circa sorgenti e/o pennacchi delle sostanze inquinanti. Il Tetracloroetilene (PCE) e il Monoclorobenzene (MCB), scelti come tra i più rappresentativi fra le sostanze inquinanti, hanno dato risultati particolarmente significativi e sono stati, pertanto, considerati come "traccianti" della contaminazione riscontrata all'esterno del sito. Difatti per i composti considerati, sono stati misurati in diversi casi segnali isotopici impoveriti nel settore esterno (area A3) rispetto a quello interno (aree A1 e A2) e, per quanto sottolineato già per i solfati (vedi nota 6 a piè di pagina), ciò risulta essere un chiaro indicatore del fatto che l'origine dei composti rinvenuti in area A3 non può essere ricondotta ad una provenienza dalle sorgenti interne presenti nelle aree A1 e A2, ma potrebbe essere correlata ad una sorgente in loco, quale i cumuli storicamente presenti all'esterno e poi asportati. Nel caso del Monoclorobenzene un grande valore aggiunto è stato dato dall'accoppiamento del  $^{13}\text{C}$ -MCB e del  $^{37}\text{Cl}$ -MCB (CSIA-dual isotope approach). Questo approccio, che combina le informazioni derivanti dai due isotopi, aumenta considerevolmente la possibilità di individuare eventuali differenze di origine di una sostanza e ha fornito, nel caso specifico, una conferma del modello concettuale elaborato.

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 26 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

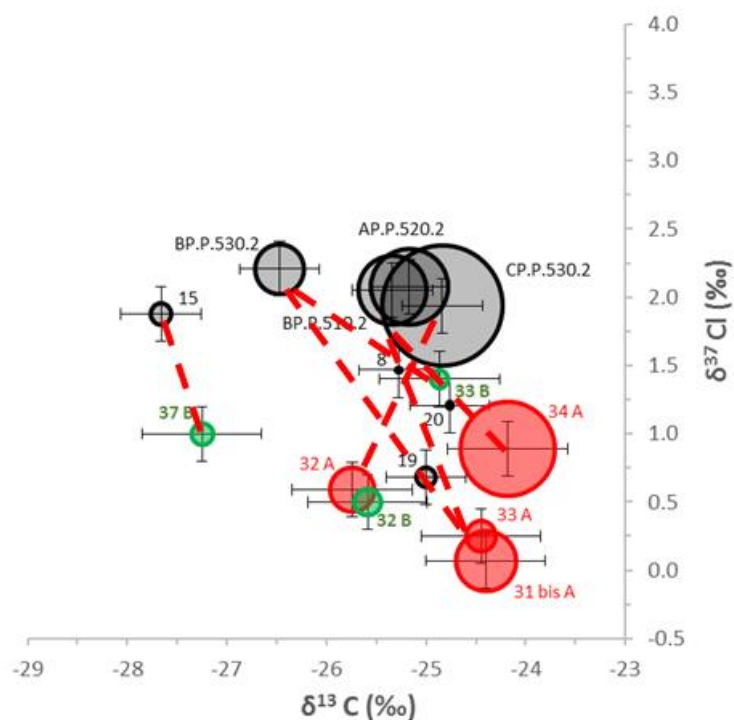



Figura 4 -Dual isotope plots  $^{13}\text{C}$  e  $^{37}\text{Cl}$ -MCB per il MCB, valori medi per le campagne di marzo e giugno. Con una linea tratteggiata in rosso sono stati messi in evidenza i trend che mostrano valori di  $\delta^{13}\text{C}$  e/o  $\delta^{37}\text{Cl}$  impoveriti all'esterno (verde riporto, rosso marna) se confrontati con il corrispettivo punto di confronto interno (grigio) e che danno dunque evidenza che non vi possa essere una provenienza dall'interno verso l'esterno della cinturazione. La dimensione dei cerchi è funzione della concentrazione

In conclusione, per quanto riguarda la circolazione idrica e l'origine delle sostanze inquinanti i risultati depongono a favore di una tenuta del confinamento operato dal diaframma e dai sistemi idraulici. In sintesi, dall'indagine isotopica e geochimica emerge infatti che:

- la circolazione idrica nel comparto marna non riceve direttamente acque di ricarica locali o recenti, presentando tempi di residenza medi anche molto elevati. Con buona probabilità quindi, nel comparto marna sono contenute acque ricaricate parecchi decenni orsono e in zone di ricarica con altitudini più elevate rispetto al sito così come alle aree circostanti. Questa conclusione è confermata anche dalla facies idro-chimica, tipica di acque di origine marina o di acque profonde ed antiche. La variabilità isotopica del Trizio osservata nelle marne sarebbe giustificata dalla lenta circolazione che avviene in queste ultime, tale per cui le acque di quei piezometri che sono ricaricati con difficoltà una volta spurgati, possono risentire anche di lievissime infiltrazioni (eventualmente attraverso la stessa cementazione

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 27 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

esterna del piezometro) da parte delle acque superficiali; tale aspetto è coerente con il modello concettuale noto e le prove idrauliche effettuate nel riporto.

- Le acque del comparto interno non sono in continuità con i comparti esterni come testimoniato dalla distribuzione degli ioni maggiori e dai risultati isotopici, in particolare dei solfati. Viceversa, i comparti marna e riporto superficiale esterno possono ritenersi verosimilmente in connessione; infatti, le acque provenienti dal comparto marna, più ricche in soluti, risultano mescolarsi con le acque del comparto riporto superficiale esterno, queste ultime molto meno mineralizzate essendo ricaricate da acque superficiali.
- Grazie al C-CSIA e al CI-CSIA di alcuni contaminanti, in particolare PCE e Monoclorobenzene, risulta confermata l'ipotesi che le sostanze inquinanti che si ritrovano all'esterno, sia nel comparto marna che riporto superficiale, derivino da una fonte in loco e comunque non derivino da una migrazione attuale dall'interno, rendendo plausibile ricondurne l'origine agli accumuli di rifiuti avvenuti in area A3 fino agli anni settanta e che successivamente sono stati rimossi.

### 3.6 Ricostruzione di un modello idrogeologico numerico del sito

Per permettere una visione complessiva delle caratteristiche idrogeologiche dell'area si è provveduto alla ricostruzione di un modello idrogeologico numerico del sito che ha rappresentato il substrato marnoso, le alluvioni ed i riporti soprastanti, i rapporti tra queste ed il fiume Bormida, nonché le opere di contenimento e di drenaggio delle acque interne del sito.

Le attività sono state in particolare finalizzate all'analisi dei rapporti tra acque interne ed esterne al sito, il F. Bormida e le opere di contenimento lato Bormida, costituite da un diaframma plastico immerso nel substrato marnoso (figura in allegato 1), e da una trincea di retrobarriera per il controllo delle acque di filtrazione interne.

A riguardo sono stati valutati i flussi per filtrazione nel substrato marnoso di immersione della barriera plastica considerando il substrato stesso come un mezzo acquifero, semipermeabile per micro fessurazione.



A partire dai modelli di flusso, per alcune specifiche sezioni sono state inoltre effettuate simulazioni del trasporto di massa (advettivo, dispersivo, diffusivo). Le simulazioni di trasporto hanno riguardato in particolare i Clorobenzeni, in riferimento a diversi scenari di sorgente definiti sulla base dei dati analitici dal monitoraggio Syndial di qualità delle acque di falda.

Le attività di simulazione del flusso e trasporto si sono sviluppate a differenti scale di dettaglio dei fenomeni, attraverso l'implementazione dei seguenti modelli numerici.

*Questo documento è di proprietà Syndial S.p.A. che se ne riserva tutti i diritti.  
La copia, una volta prelevata dal sito, è in stato non controllato; prima dell'utilizzo verificare la validità della revisione.*

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. <b>28 a 42</b>
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

- A – Simulazioni a scala dell'intero sito (aree A1, A2) con realizzazione di 2 modelli in sezione bidimensionale verticale, attraverso le aree A1, A2, rispettivamente dal setto di separazione A1-A2 al fiume Bormida e dall'area Nord ferrovia al fiume Bormida. Le tracce delle sezioni sono riportate in figura 6, in sovrapposizione con il campo piezometrico ricostruito sulla base delle misure sperimentali sulla rete di monitoraggio (dati Aprile 2016). La base del modello è stata posta alla profondità di 70 m dalla base del diaframma plastico.
- B – Simulazioni di dettaglio alla scala del sistema di barriera in fregio al F. Bormida, con realizzazione di 8 modelli di dettaglio in sezione bidimensionale verticale, approssimativamente equispaziati, finalizzati alla verifica per ogni settore lungo la barriera plastica anche di scenari parametrici rappresentativi di condizioni/anomalie locali di conducibilità idraulica. La geometria delle opere di confinamento e di drenaggio è stata implementata nel modello sulla base delle sezioni as-built (figura 7). La base del modello è stata posta alla profondità di 40 m dalla base del diaframma plastico.
- C – Modello 3D di flusso e bilancio idrogeologico per le aree "interne" A1, A2/A2bis costruito in riferimento ad un "sistema chiuso", idraulicamente isolato dalle barriere al contorno del sito e dal substrato marnoso. Nel modello 3D è stata assunta dunque trascurabile la filtrazione attraverso il substrato stesso, approssimazione compatibile con il contrasto di permeabilità tra i terreni interni (alluvioni e rilevati) e il substrato stesso.
- Finalità del modello è stata la verifica del bilancio idrogeologico in area interna, ovvero la compatibilità tra infiltrazione, campo di permeabilità, andamento piezometrico e volumi di acque sotterranee emunte dalla trincea di retrobarriera.

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 29 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

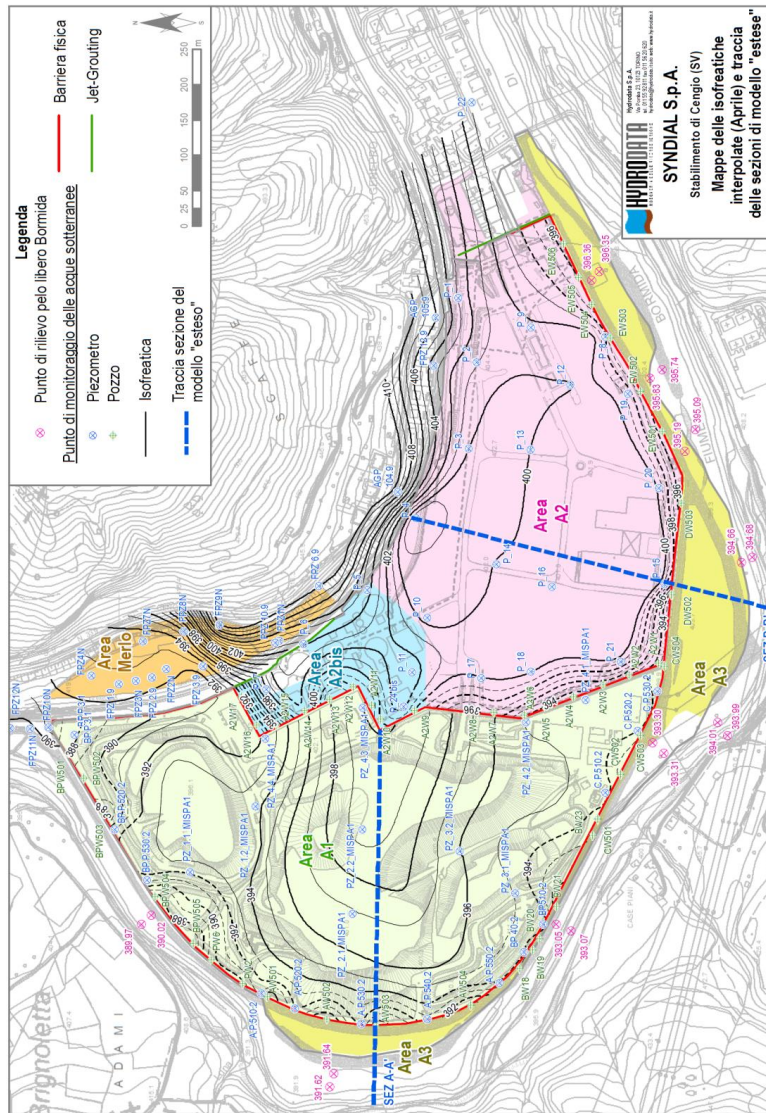


Figura 5 – Assetto piezometrico (elaborazione dati Aprile 2016) e traccia delle sezioni di modello attraverso le aree A2 e A3 (modelli "Sezioni estese")




	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3	Pag. 30 a 42	
	N°DOC Appaltatore AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE COTES	INDICE DI REV. <b>00</b>



Figura 6 – Sezioni as-built delle opere di contenimento, di riferimento per le verifiche di filtrazione (modelli di dettaglio)

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 31 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

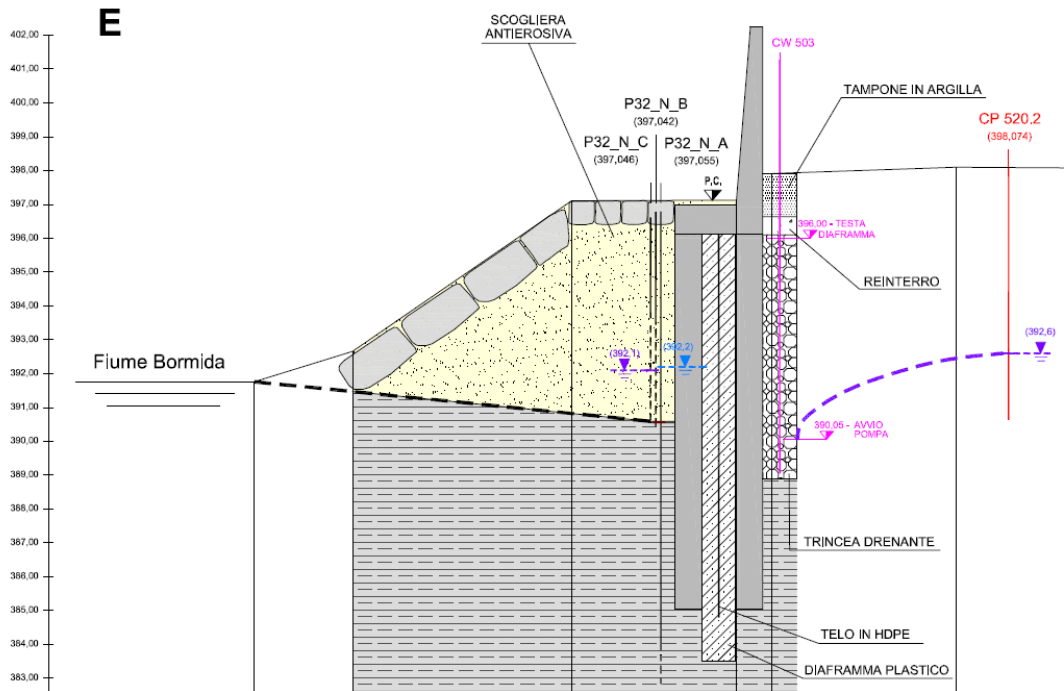


Figura 7 – Sezione tipo dell'opera di contenimento (Sez. E-E'; cfr.Figura 7)

Per l'implementazione dei modelli, alle differenti scale di lavoro (punti A, B), la valutazione della conducibilità idraulica dell'ammasso marnoso, parte dell'unità stratigrafica nota in letteratura come "Formazione di Rocchetta", è stata basata sulle indagini riepilogate nello studio eseguito da URS Italia S.p.A. "Sistema di monitoraggio post-operam del sito di Cengio (SV): analisi dei risultati preliminari" (2015), nel quale è stato sviluppato uno studio statistico di tutti i dati sperimentali disponibili, ricavati nelle diverse fasi di caratterizzazione e realizzazione delle opere.

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 32 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

CLASSI	Permeabilità [cm/s]	Frequenza kh	Frequenza kv
1	1,00E-02 - 1,00E-03	0	0
2	1,00E-03 - 1,00E-04	0	0
3	1,00E-04 - 1,00E-05	1	0
4	1,00E-05 - 1,00E-06	12	5
5	1,00E-06 - 1,00E-07	71	13
6	1,00E-07 - 1,00E-08	36	74
7	1,00E-08 - 1,00E-09	20	28
8	<1,00E-9	30	50
<i>Totale valori</i>		<i>170</i>	<i>170</i>

Tabella 1 - Distribuzione in classi di frequenza dei valori di permeabilità ottenuti da prove Lugeon (unico valore per ciascun sondaggio) – da URS 2015

Sulla base dei suddetti dati di misura relativi al substrato marnoso (Tabella 1), per i modelli a scala dell'intero sito (rif. precedente punto A) è stato utilizzato il valore medio della classe di massima frequenze delle misure (URS 2015), pari a  $K_x = 5E-9$  m/s.

Cautelativamente è stato utilizzato il medesimo valore di conducibilità idraulica anche sull'asse verticale ( $K_x=K_z$ ), dove le misure URS riportavano un valore medio di un ordine di grandezza inferiore ( $K_z=5E-10$  m/s, rif. Tabella 1).

Per i modelli di dettaglio (punto B), a partire dai medesimi valori state invece effettuate verifiche sulla base di scenari parametrici di conducibilità idraulica per tener conto di potenziali condizioni/anomalie locali.

### 3.6.1 Sintesi dei risultati delle simulazioni di flusso (“sezioni estese” e modelli di dettaglio)

Una prima valutazione riguardo il rapporto tra acque esterne e interne al sistema di barrieramento, deriva dal riscontro sperimentale, come già accennato, di quote freatiche interne (pozzi in trincea di retrobarriera) costantemente inferiori alle corrispondenti quote idrometriche in asse Bormida. Tale condizione evidenzia, nello scenario di potenziale connessione idraulica per filtrazione in marna, un gradiente idraulico diretto dall'esterno verso l'interno del sito, ovvero l'incompatibilità di un flusso advettivo verso l'esterno del sito stesso<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> Fa eccezione un'unica sezione (B-B') sulle otto esaminate in cui dai dati di monitoraggio 2015-1016 si riscontrano per alcuni periodi anche livelli interni superiori. Peraltro, anche per tale sezione tale gradiente può



	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 33 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

Nel dettaglio, sulla base delle simulazioni di flusso eseguite possono essere svolte le considerazioni che seguono.



#### A - Modelli di area vasta (simulazioni a scala di sito, aree A1, A2)

- la linea di separazione tra flussi afferenti alla trincea e flussi non influenzati dall'emungimento e afferenti al Bormida è prossima alla base del modello per entrambe le sezioni 1 e 2. A tale profondità (>50 m) l'assunzione dell'effettiva esistenza di un flusso in marna è puramente teorica e condizionata dall'ipotesi molto cautelativa che la conducibilità idraulica non si riduca con la profondità, come invece è realistico attendersi in considerazione del serraggio delle microfrazture indotto dalla tensione di confinamento litostatica. Non affluiscono dunque al corso del Bormida i flussi provenienti dai terreni superficiali e dalle porzioni corticali del substrato, che risultano integralmente captati dal sistema di pompaggio di retro barriera (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).
- per le linee di flusso più profonde non intercettate dal sistema superficiale di drenaggio, sono stati calcolati tempi di filtrazione dell'ordine di decine di migliaia di anni (rif. medesima **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**9), pur nell'ipotesi estremamente cautelative descritte in precedenza.

Da quanto sopra deriva che, considerando il puro trasporto lungo linee di flusso advettivo, gli inquinanti presenti nei riporti e nella marna per diverse decine di metri di profondità non hanno potenziale recapito in Bormida, venendo integralmente captati dall'emungimento in trincea.

Inoltre, l'implementazione nel modello della copertura finale dell'area A1, attualmente in corso di realizzazione, ha evidenziato che l'abbattimento della livello idraulico interno determinato da tale opera comporterà l'inversione completa dei potenziali flussi idraulici in marna anche a grandi profondità (Figura 9).

essere mantenuto nella medesima condizione di gradiente idraulico diretto verso l'interno dell'area cinturata regolando opportunamente il regime di emungimento dalla trincea di retrobarriera.

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 34 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

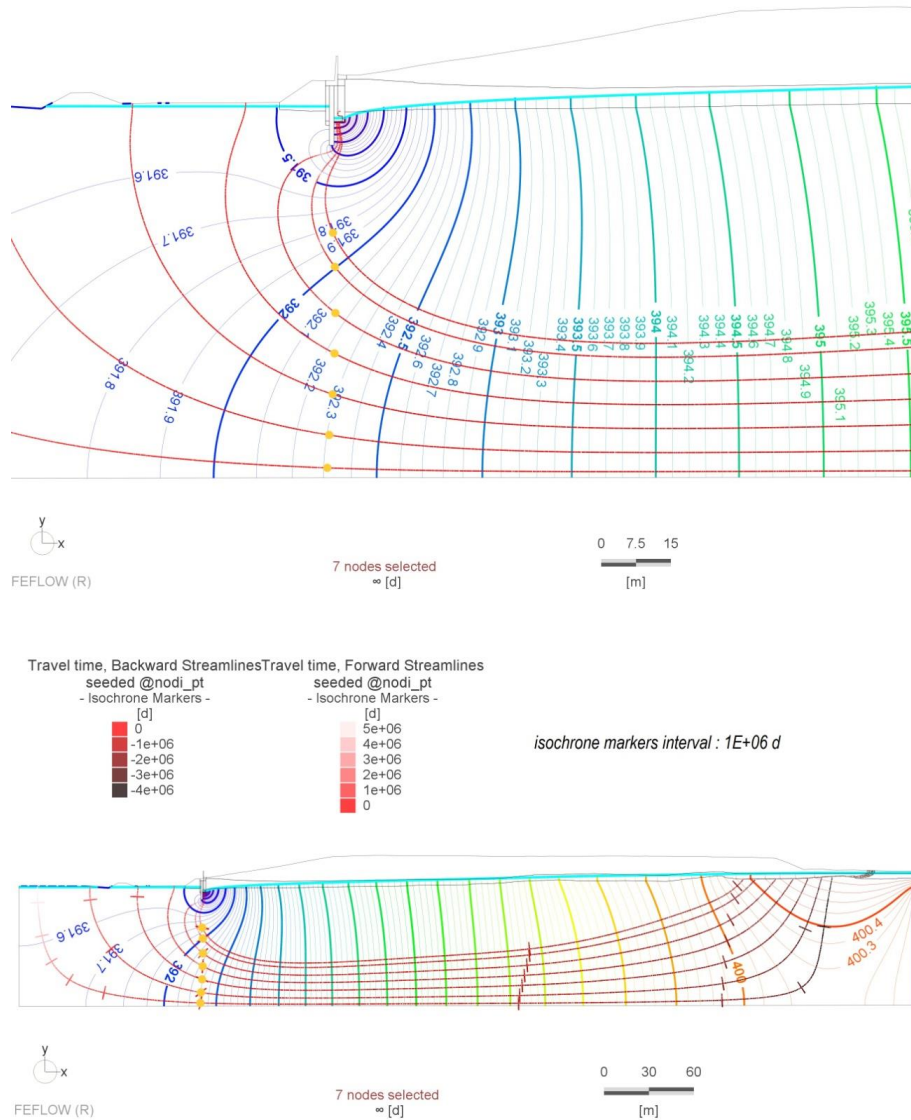


Figura 8 - Sezione 1 - Particle tracking relativo ai nodi di modello sottostanti il diaframma plastico (nota: in rosso sono tracciate le linee di flusso, isochrone markers interval 5E+6 d). Profondità sezione pari a 70 m da base diaframma.

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 35 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

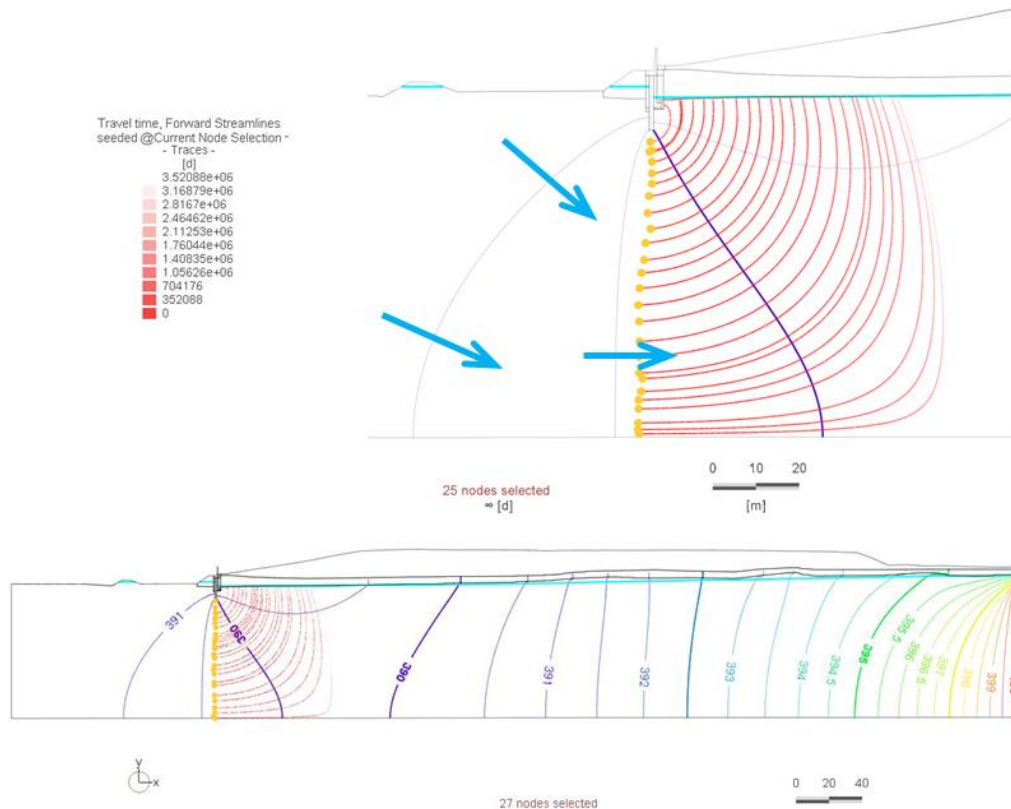



Figura 9 – Sezione 1, campo piezometrico nello scenario postoperam con capping, e linee di flusso (forward) con origine dai particle sulla verticale della barriera. Si noti a ogni profondità l'assenza di linee di flusso dirette dall'interno verso l'esterno del sito.

## B - Modelli di dettaglio nella fascia di barrieramento fisico

Tramite i modelli a scala di dettaglio, è stato simulato lo scenario di malfunzionamento del sistema (cosiddetto “worst case scenario”), ipotizzando l'interruzione incidentale dei pompaggi dalla trincea e di contestuale assenza di flusso in Bormida, da cui deriva l'attivazione del massimo gradiente idraulico diretto verso l'esterno dell'area confinata. Tale condizione è stata valutata come scenario parametrico in un campo di variabilità della conducibilità idraulica esteso a comprendere ipotesi anche estremamente cautelative sullo stato di fratturazione del substrato, ovvero considerando valori di conducibilità idraulica superiori fino a oltre 3 ordini di grandezza rispetto a quanto effettivamente misurato con le indagini sperimentali. Anche nelle condizioni più sfavorevoli, con valori massimi di conducibilità idraulica nel campo verificato, il tempo di attraversamento del flusso advettivo tra interno ed esterno dell'area confinata è risultato superiore di ordini di grandezza ai tempi necessari per il

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 36 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

ripristino della gestione dei livelli mediante pompaggio dalla trincea stessa. Anche da questa serie di simulazioni è dunque emersa la validità delle assunzioni di progetto delle opere di confinamento e l'insussistenza della possibilità che si verifichi un flusso advettivo dall'interno verso l'esterno del sito, sia nelle condizioni di ordinaria gestione degli emungimenti, sia in caso di accidentale interruzione dei pompaggi.

### C - Modello tridimensionale di bilancio idrologico

Come precedentemente specificato, il modello 3D, a layer orizzontali, è stato costruito in riferimento ad un "sistema chiuso", idraulicamente isolato dalle barriere al contorno del sito e dal substrato marnoso.

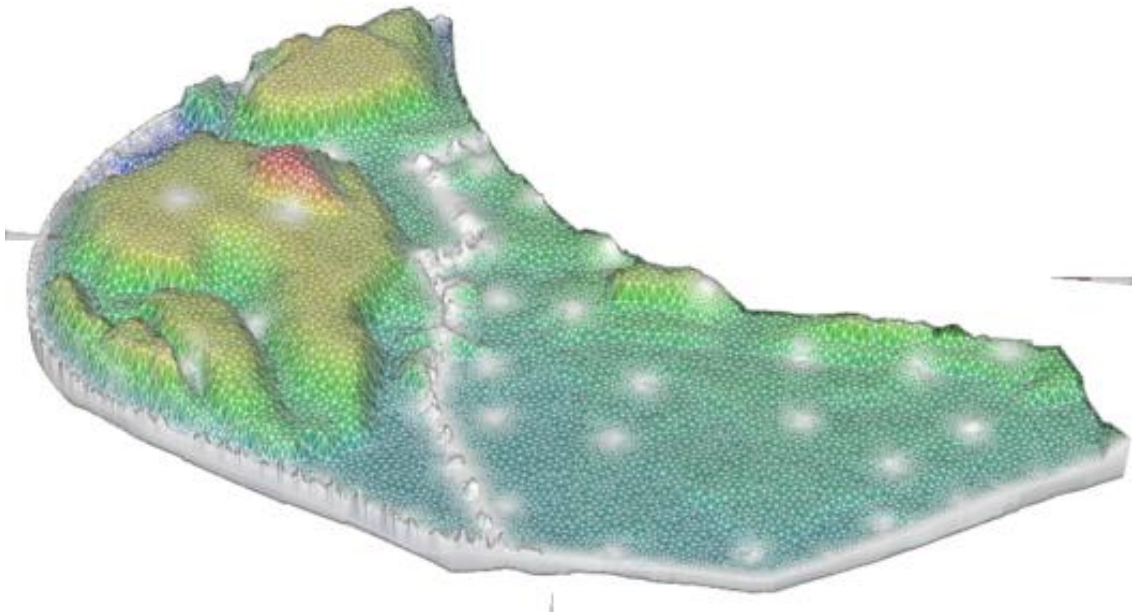


Figura 10 – Griglia del modello tridimensionale "area interna"

Finalità del modello 3D, distinta e differente rispetto a quella dei modelli in sezione, è stata dunque la valutazione del bilancio idrogeologico in area interna.

Gli scenari di calibrazione hanno evidenziato la compatibilità tra infiltrazione, campo di permeabilità, andamento piezometrico e volumi di acque sotterranee emunte dalla trincea di retrobarriera, ovvero di uno schema di

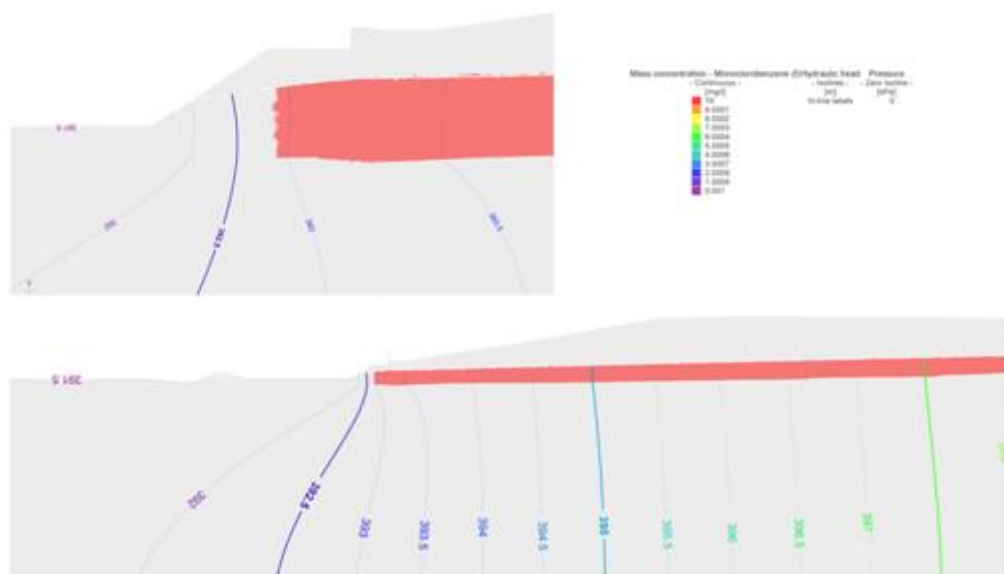
	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 37 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

circolazione “chiuso”. In tale quadro non risulta verosimile l’afflusso da area esterna di volumi significativi nell’ordine di grandezza del bilancio superficiale.


### 3.6.2 Sintesi dei risultati delle simulazioni di trasporto

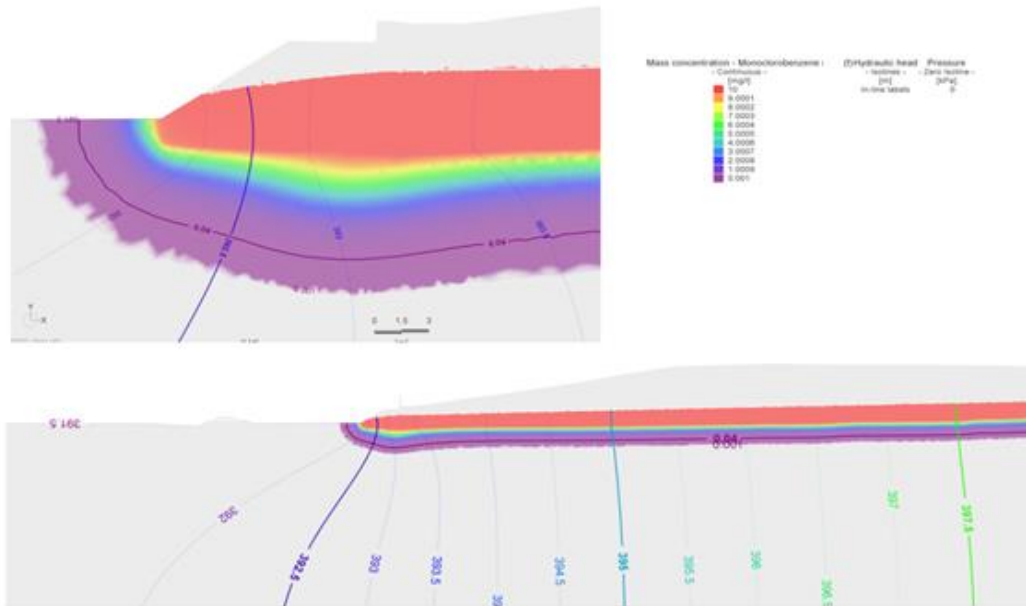
I risultati delle simulazioni di trasporto (Clorobenzeni) hanno evidenziato, in sintesi, quanto segue:

- La presenza di inquinanti in area esterna (“marker” Clorobenzeni) è compatibile con la storia del sito, ovvero con un meccanismo di rilascio della contaminazione residua nelle microfessure della marna, causata dagli accumuli storici di materiali e rifiuti ora rimossi e sostituiti dai riporti di materiale incontaminato (cfr. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**1 e 12);
- 
- per quanto riguarda l'area A1, il cui progetto finale prevede il completamento con un capping, le simulazioni mostrano che sono più presenti linee di flusso dirette dall'interno verso l'esterno del sito, anche nelle porzioni profonde della marna E che tutte le linee di flusso sono dirette verso l'interno, generando una progressiva riduzione della concentrazione in area esterna (cfr. Figura 13).




- *Figura 11 – Sezione 1 (A-A'), scenario di evoluzione sorgente interna – Condizione iniziale (contaminazione nei terreni sciolti fino a filo sponda originale del F.Bormida)*

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. <b>38 a 42</b>
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>



- *Figura 12 – Sezione 1 (A-A), scenario di evoluzione sorgente interna ante operam (pre costruzione barriera) – Dopo 80 anni dalla condizione iniziale.*



	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 39 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

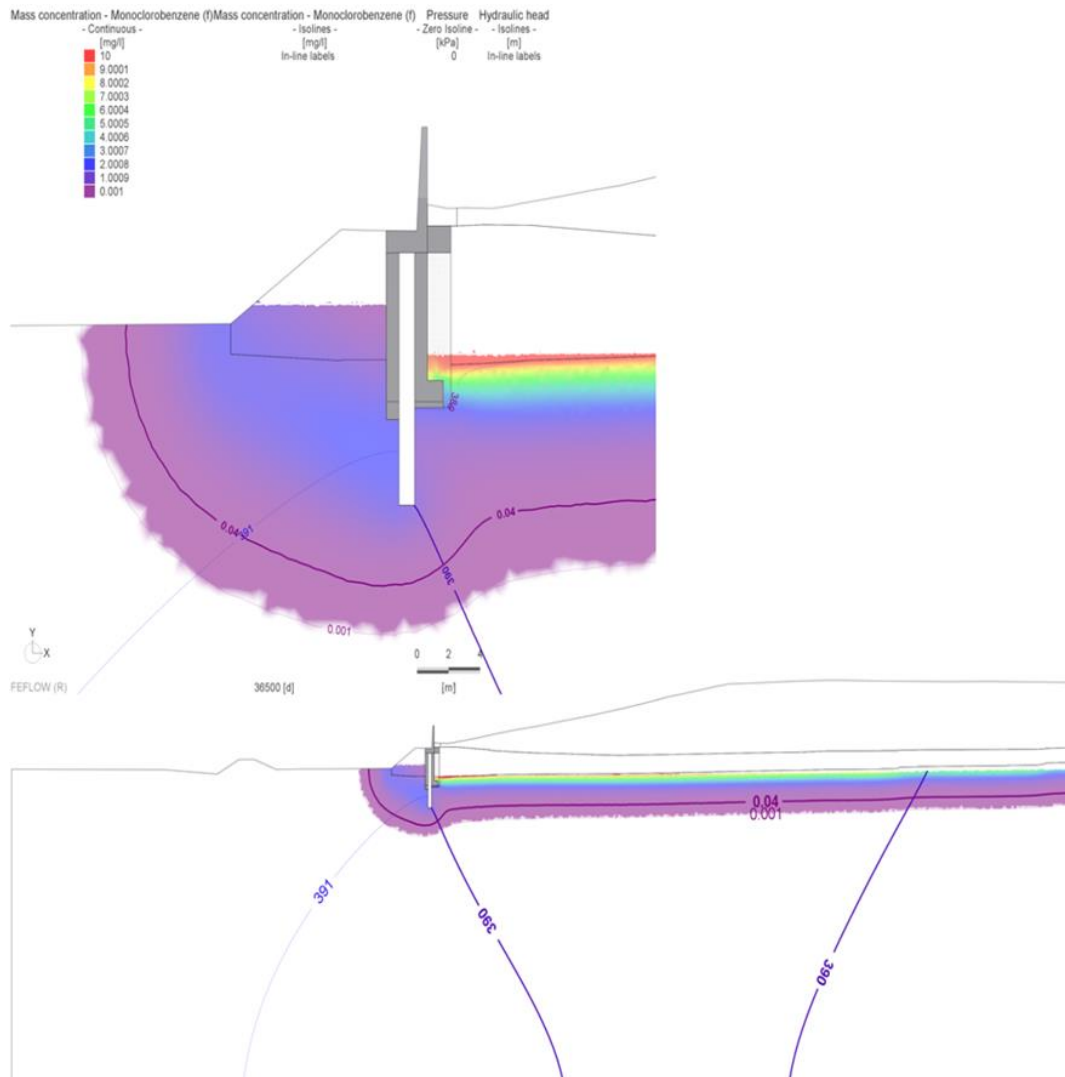



Figura 13 - Sezione 1 (A-A), scenario dopo ulteriori 100 anni, in presenza di capping

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. <b>40 a 42</b>
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

In conclusione, dalle simulazioni eseguite, comprendenti anche scenari di estremamente cautelativi,, il sistema di isolamento verso Bormida appare sempre efficiente e idoneo a garantire l'esclusione di una fuoriuscita di inquinanti dal sito e in particolare la contaminazione in subalveo del Bormida. In caso di sospensione dei pompaggi nella trincea a tergo della barriera stessa, anche nelle condizioni più sfavorevoli, i tempi di diffusione sono di ordini di grandezza largamente superiori a quelli di ripristino della funzionalità del sistema.

Per le situazioni puntuali di contaminazione da clorobenzeni riscontrate in piezometri esterni, l'unico scenario compatibile è connesso alla diffusione della contaminazione ancora presente nelle nelle microfessure della marna, causata dall'accumulo storico di materiali e terreni contaminati.



	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 41 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

#### 4. Conclusioni

Le brevi trattazioni delle attività effettuate nell'ambito degli approfondimenti svolti mostrano come il modello concettuale esposto nello studio URS del 2015 risulta confermato. In particolare:

- i risultati delle indagini geochimiche ed isotopiche nelle acque presenti nelle marni (par. 3.5) confermano in generale, una circolazione idrica sotterranea di entità molto ridotta. Le indagini di carattere geochimico e isotopico (par. 3.53.5) confermano la segregazione dell'ambiente interno alla cinturazione rispetto a quello contiguo esterno in area A3 (vedi trattazione sui solfati). Particolarmente significativi sono i risultati del Compound Specific Isotope Analysis (CSIA) del Carbonio e del Cloro su alcuni contaminanti indicatori (PCE e Monoclorobenzene), i quali evidenziano l'assenza di correlazione tra la contaminazione riscontrata all'interno dell'opera di contenimento del sito e quella all'esterno. In tal senso confermano quindi l'ipotesi che le sostanze inquinanti che si ritrovano in area A3, sia nel comparto marna sia nel riporto superficiale, derivino da una fonte in loco risalente nel tempo (cumuli di rifiuti accumulati negli anni 70 e rimossi a seguito della bonifica) e certamente non originino da una attuale migrazione dall'interno;
- i risultati delle prove di pompaggio effettuate in alcuni piezometri del riporto, mostrano la limitata capacità di ricarica delle acque contenute nelle microfessure della marna, a conferma della bassa trasmissività di tale formazione. Questi risultati sono peraltro confermati dagli andamenti dei livelli piezometrici in marna, i quali, soprattutto dopo il luglio 2015, cioè in seguito all'attivazione degli spurghi quindicinali, dimostrano, per gli elevati tempi di ricarica, che la marna è un substrato a bassa permeabilità;
- la stessa conclusione è sostenuta anche dalle indagini SEM, TEM e XRD (par. 3.4) che danno evidenza della composizione mineralogica e tessiturale di tale comparto, associata, tipicamente, ad una permeabilità molto bassa della roccia non fratturata;
- tali evidenze in relazione alle caratteristiche intrinseche della marna, riconfermano l'esclusione dalla definizione di "falda acquifera" secondo l'art. 54 del D.Lgs. 152/2006 ("falda acquifera: uno o più strati sotterranei di roccia o altri strati geologici di porosità e permeabilità sufficiente da consentire un flusso significativo di acque sotterranee o l'estrazione di quantità significative di acque sotterranee"). Anche all'interno del riporto, il fatto che si rinvenivano spessori saturi effimeri, spesso nulli, anche per lunghi

	SITO/LOCALITA' Cengio (SV)	N° DOC. 120007-ENG-R_RV-1150	PVI: 120007
	TITOLO Nota di sintesi delle indagini di approfondimento effettuate sull'area A3		Pag. 42 a 42
	N°DOC Appaltatore  AMB-SV2/16/2	FUNZIONE EMITTENTE  COTES	INDICE DI REV.  <b>00</b>

periodi di tempo, porta ad escludere la possibilità di identificare questa formazione come un “*falda acquifera*” così come definita dal sopracitato art. 54 del D.Lgs. 152/2006.

➤ i risultati del modello matematico di sito (par. 3.63.6), infine, danno ulteriore evidenza che il sistema di isolamento verso il Fiume Bormida è efficiente e idoneo a garantire il mantenimento degli inquinanti all'interno del sito, anche ipotizzando scenari particolarmente sfavorevoli. Le situazioni puntuali di contaminazione riscontrate nei piezometri esterni, possono essere ricondotte unicamente alla percolazione nelle microfessure della marna causata dall'accumulo storico di materiali e terreni contaminati al di sopra della marna stessa. Tutti gli elementi raccolti supportano pertanto l'ipotesi già esposta nel 2015 che la presenza delle sostanze oggi riscontrata è da attribuirsi alla contaminazione penetrata all'interno delle microfessure in epoca passata, quando la marna era esposta all'impatto dei riporti di origine industriale accumulati nelle aree in epoche antecedenti alla gestione di Syndial (gli accumuli di materiale in area A3 sono cessati negli anni '70). In queste aree, la morfologia del substrato marnoso normalmente pendente dal Fiume Bormida verso le aree industriali, ha consentito nel passato la formazione e la persistenza, alla base dei riporti industriali, di un percolato ricco di sostanze organiche ed inorganiche estratte dai materiali attraversati, che si è potenzialmente infiltrato nelle microfessure presenti localmente nella marna.”.

Scopo delle suddette indagini integrative era anche la verifica di assenza di effetti sulla qualità delle acque del Fiume Bormida, che viene confermata sia dai risultati sopra esposti sia dagli esiti dei monitoraggi che vengono regolarmente svolti.

Le risultanze delle simulazioni modellistiche (cfr. par. 3.6) hanno infatti mostrato come, considerando il puro trasporto lungo linee di flusso advettivo, gli inquinanti presenti nei riporti e nei livelli più superficiali della marna non hanno potenziale recapito in Bormida, come confermato dai risultati dei monitoraggi delle acque superficiali del fiume Bormida in più postazioni che hanno evidenziato la buona qualità per le acque del Fiume Bormida. Infatti, per nessuno degli analiti esaminati, nei campioni prelevati lungo l'area A3, si è avuto superamento dei limiti di riferimento (D. Lgs. 152/2006 All.1 parte III); si rileva altresì che per la maggior parte di questi le concentrazioni sono sotto la soglia di rilevabilità.