

	SITO/LOCALITA'	
	Stabilimento di Brindisi	
	Progetto Operativo di Messa In Sicurezza Permanente di parte delle Aree esterne Syndial	
	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE
	46318615	INTE

# **PROGETTO OPERATIVO DI MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE DI PARTE DELLE AREE ESTERNE SYNDIAL**

## **STABILIMENTO DI BRINDISI**

### **Relazione**



00	REV.0	L. Piccapietra S. Conti G. Distaso	A. Amantia F. Motta	S. Contorbia G. Donini C. Maione	14/10/2013
<b>Indice di Rev.</b>	<b>Descrizione Revisione</b>	<b>Preparato</b>	<b>Controllato</b>	<b>Approvato</b>	<b>Data</b>
Progetto Operativo di Messa in Sicurezza Permanente di parte delle aree esterne Syndial – Stabilimento di Brindisi					

# URS

## Progetto Operativo di Messa in Sicurezza Permanente di parte delle aree esterne Syndial

Stabilimento di Brindisi

Ottobre 2013

Progetto 46318615

Preparato per: Syndial S.p.A.

ITALY



**COPYRIGHT**

© Il presente Rapporto è di proprietà di URS Italia S.p.A. e URS Corporation Limited. Qualsiasi riproduzione non autorizzata o utilizzo da parte di qualsiasi soggetto, al di fuori del suo destinatario, è strettamente proibito.

## INDICE

<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>5</b>
<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>1. SCOPO DEL LAVORO E SOMMARIO .....</b>	<b>7</b>
<b>2. INQUADRAMENTO GENERALE .....</b>	<b>10</b>
2.1. Localizzazione geografica .....	10
2.2. Caratteristiche meteorologiche .....	11
2.3. Inquadramento geologico e idrogeologico .....	11
2.4. Inquadramento morfologico .....	13
2.5. Idrografia locale .....	14
2.6. Sismicità dell'area .....	15
<b>3. ATTIVITÀ DI CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE ...</b>	<b>17</b>
3.1. Campagna d'indagine generale Aree Syndial.....	17
3.2. Campagna d'approfondimento nelle Aree Syndial ....	18
3.2.1. Campagne piezometriche.....	20
3.2.2. Campagna di monitoraggio idrochimico .....	20
3.2.3. Acque superficiali e sedimenti del Pandi .....	20
3.3. Campagna d'indagine in Micorosa .....	21
<b>4. RISULTATI DELLE CARATTERIZZAZIONI.....</b>	<b>22</b>
4.1. Morfologia e geologia locale .....	22
4.2. Idrogeologia locale .....	23
4.3. Stato qualitativo delle matrici ambientali.....	25
4.3.1. Aree Syndial .....	25
4.3.2. Area Micorosa.....	30
<b>5. MODELLO CONCETTUALE.....</b>	<b>32</b>
5.1. Genesi della contaminazione in Area Micorosa .....	32
5.2. Meccanismi di trasporto della contaminazione.....	34
<b>6. ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA .....</b>	<b>37</b>
6.1. Impostazione metodologica .....	37
6.2. Sintesi del modello concettuale.....	40



<b>6.3.</b>	<b>Risultati.....</b>	<b>42</b>
<b>7.</b>	<b>STRATEGIA DEGLI INTERVENTI COORDINATI.....</b>	<b>46</b>
<b>7.1.</b>	<b>ANALISI DELLE ALTERNATIVE APPLICABILI.....</b>	<b>46</b>
7.1.1.	BARRIERA IDRAULICA COMPLEMENTARE .....	48
7.1.2.	BARRIERA REATTIVA PERMEABILE COMPLEMENTARE.....	50
7.1.3.	DIAFRAMMA FISICO COMPLEMENTARE .....	51
<b>7.2.</b>	<b>COMPARAZIONE E VALUTAZIONE DELLE IPOTESI .....</b>	<b>53</b>
<b>7.3.</b>	<b>STRATEGIA DI INTERVENTO.....</b>	<b>53</b>
<b>7.4.</b>	<b>AUTORIZZAZIONI AMBIENTALI .....</b>	<b>56</b>
<b>8.</b>	<b>DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....</b>	<b>58</b>
<b>8.1.</b>	<b>Riquilificazione ambientale del Canale Pandi.....</b>	<b>58</b>
8.1.1.	Ipotesi di tracciato della deviazione.....	59
8.1.2.	Dimensioni del canale.....	61
8.1.3.	Impermeabilizzazione e Stabilizzazione .....	62
8.1.4.	Realizzazione degli argini.....	64
8.1.5.	Attraversamenti stradali .....	64
8.1.6.	Dismissione tratto di valle Canale Pandi .....	67
<b>8.2.</b>	<b>Opere di regimazione della falda acquifera .....</b>	<b>67</b>
8.2.1.	Modellistica idrogeologica.....	68
8.2.2.	Sondaggi geognostici .....	80
8.2.3.	Pozzi di emungimento .....	82
8.2.4.	Interconnecting al TAF.....	84
<b>8.3.</b>	<b>Opere d'ingegneria forestale .....</b>	<b>84</b>
8.3.1.	Scopo delle opere.....	84
8.3.2.	Scelta del materiale vegetale .....	85
8.3.3.	Sesti d'impianto .....	87
8.3.1.	Operazioni d'impianto del materiale vegetale ..	89
8.3.2.	Stima dell'evapotraspirazione potenziale .....	90

<b>8.4.</b>	<b>Opere di Confinamento fisico.....</b>	<b>91</b>
8.4.1.	Scelta della tecnologica.....	91
8.4.2.	Identificazione del tracciato Syndial .....	93
8.4.3.	Proposta di indagini integrative .....	94
8.4.4.	Gestione delle interferenze.....	94
8.4.5.	Realizzazione del diaframma .....	95
8.4.6.	Prove sui materiali e Campi Prova .....	100
8.4.7.	Rinforzo localizzato del diaframma.....	101
<b>8.5.</b>	<b>Riutilizzo del materiale scavato.....</b>	<b>101</b>
<b>9.</b>	<b>COLLAUDI DELLE OPERE.....</b>	<b>102</b>
9.1.	Riqualificazione ambientale del Canale Pandi.....	102
9.2.	Opere di regimazione delle acque di falda.....	102
9.3.	Opere di ingegneria forestale .....	103
9.4.	Opere di confinamento fisico .....	103
9.4.1.	Collaudi distruttivi nel pannello di prova .....	103
9.4.2.	Test con traccianti.....	105
<b>10.</b>	<b>PIANO DI MONITORAGGIO.....</b>	<b>108</b>
10.1.	Opere d'ingegneria forestale .....	108
10.2.	Opere di confinamento fisico .....	110
<b>11.</b>	<b>CRITERI DI PROTEZIONE DEI LAVORATORI .....</b>	<b>112</b>
11.1.	Normativa di riferimento .....	112
11.2.	Linee guida per la redazione dei documenti.....	114
<b>12.</b>	<b>PIANO TEMPORALE DEGLI INTERVENTI .....</b>	<b>116</b>
<b>13.</b>	<b>COSTI DEGLI INTERVENTI DELLE AREE SYNDIAL. ....</b>	<b>118</b>

**Tavole**

- Tavola 01** Localizzazione aree di interesse
- Tavola 02** Sintesi dello stato qualitativo dei terreni e delle acque di falda
- Tavola 03** Carta piezometrica
- Tavola 04** Planimetria generale intervento di MISP coordinato Syndial / comune di Brindisi
- Tavola 05** Opere di ingegneria forestale (Syndial)
- Tavola 06** Ubicazione indagini esistenti di interesse per la realizzazione del diaframma
- Tavola 07** Proposta di indagini integrative propedeutiche alla progettazione esecutiva
- Tavola 08** Sezioni stratigrafiche interpretative
- Tavola 09** Proposta campi prova e collaudi
- Tavola 10** Proposta monitoraggi post operam

**Allegati**

- Allegato 1** Analisi di rischio sito specifica
- Allegato 2** Modello idrogeologico del Politecnico di Milano
- Allegato 3** Riqualificazione ambientale del Canale Pandi
- Allegato 4** Opere di ingegneria forestale
- Allegato 5** Opere di confinamento fisico
- Allegato 6** Piano temporale degli interventi
- Allegato 7** Computo metrico estimativo

## INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce il Progetto Operativo di Messa in Sicurezza Permanente di parte delle aree esterne allo stabilimento di Brindisi di proprietà Syndial S.p.A. (di seguito *Aree Syndial*), redatto da URS Italia S.p.A. (di seguito URS) per conto di Syndial.

Le aree oggetto del presente progetto sono indicate in Tavola 01 e sono costituite dall'area denominata H e dalla porzione Nord delle aree denominate E e G, tutte circostanti l'area della discarica di proprietà Micorosa S.r.l. (di seguito discarica Micorosa), e caratterizzate da uno stato qualitativo delle matrici ambientali fortemente correlato alla presenza della discarica medesima. La superficie complessiva delle *Aree Syndial* suddette è pari a circa 31 ettari.

La discarica Micorosa ha una estensione di circa 50 ha ed a partire dagli anni '60 e fino al 1980 fu adibita, da parte delle società del gruppo Montedison S.p.A. a luogo di recapito e smaltimento dei residui delle produzioni industriali. Tali conferimenti hanno determinato un deposito di materiali di spessore pari a circa 2-3 metri dal piano campagna, con un volume di circa 1,5 milioni di m<sup>3</sup>. In virtù dell'art. 250 del Titolo V del D.Lgs. 152/06, il Comune di Brindisi è titolare del procedimento di bonifica dell'area Micorosa, in sostituzione del soggetto obbligato Micorosa S.r.l..

In forza della Delibera CIPE 87/2012 e dell'APQ rafforzato del 16.07.2013, il Comune di Brindisi, dopo aver effettuato la caratterizzazione della discarica, ha avviato la progettazione delle opere per la messa in sicurezza della falda dell'area, affidata a SOGESID S.p.A. (di seguito SOGESID), società in house del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) e del Ministero delle Infrastrutture (MIT).

In considerazione del ruolo primario della contaminazione della discarica Micorosa nell'aggravare lo stato qualitativo delle matrici ambientali delle *Aree Syndial* e del fatto che il progetto SOGESID (con il finanziamento disponibile) permette solo una parziale messa in sicurezza della falda dell'area Micorosa, su sollecitazione del MATTM, Syndial, ancorché non responsabile della contaminazione correlata alla presenza della discarica Micorosa, ha dato la propria disponibilità a sviluppare ed eseguire un progetto coordinato con quello SOGESID.

Il presente progetto ha quindi lo scopo di contribuire a completare la messa in sicurezza dell'area Micorosa e di estenderla alle *Aree Syndial* circostanti la discarica, le cui matrici ambientali sono impattate dalla stessa.

**DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

- [1] "Piano di caratterizzazione del sito – Relazione tecnica descrittiva" redatto da Aquater - Marzo 2001;
- [2] "Caratterizzazione dei terreni e delle acque sotterranee nelle aree di proprietà Syndial presso lo Stabilimento Multisocietario di Brindisi" redatto da Consorzio BASI - Marzo 2004;
- [3] "Caratterizzazione Integrativa ai sensi del DM 471/99 – Relazione tecnica descrittiva" redatta da Snamprogetti – Luglio 2005;
- [4] Relazione descrittiva delle indagini di caratterizzazione dell'Oasi Protetta - CH2M HILL - Dicembre 2005;
- [5] "Piano di Caratterizzazione Aree Esterne" - Febbraio 2007;
- [6] Relazione tecnica "Indagini integrative – Oasi Protetta" redatto da CH2M HILL - Giugno 2008;
- [7] "Indagini integrative di caratterizzazione Oasi Protetta – Relazione descrittiva ai sensi del D.Lgs. 152/06", CH2M HILL - 2009;
- [8] Rapporto delle indagini Area Micorosa. Attività di indagine per caratterizzazione ambientale – interventi di bonifica di siti altamente inquinati. Redatto da AMBIENTE per Comune di Brindisi – 2010;
- [9] "Relazione tecnica descrittiva delle indagini di caratterizzazione: Aree Esterne al sito Multisocietario di Brindisi", TECNO IN – ERM - Dicembre 2010;
- [10] "Indagini di caratterizzazione delle aree esterne Syndial – Sintesi", Prof. V. Francani - Febbraio 2011;
- [11] "Indagini di approfondimento per la caratterizzazione: Aree Esterne Syndial E, G e H – Politecnico di Milano, URS Italia - Novembre 2012;
- [12] "Area Micorosa – Valutazione della natura della contaminazione" – Environ - Novembre 2012;
- [13] Comunicazione MATTM, Prot. 0046424/TRI del 02 Settembre 2013 con oggetto: "Delibera CIPE 87/2012. Progetto di Messa in sicurezza e bonifica della falda dell'aerea Micorosa nel IN di Brindisi.

## **1. SCOPO DEL LAVORO E SOMMARIO**

Come anticipato in Introduzione, in forza della Delibera CIPE 87/2012 e dell'APQ rafforzato del 16.07.2013, il Comune di Brindisi (soggetto titolare del procedimento di bonifica della discarica Micorosa, in sostituzione del soggetto obbligato), dopo aver effettuato la caratterizzazione della discarica, ha avviato la progettazione delle opere per la messa in sicurezza della falda dell'area, affidata a SOGESID.

Nello specifico, gli interventi individuati come prioritari e previsti nel progetto SOGESID consistono in:

- a) marginamento fisico del tratto fronte mare dell'area Micorosa ed a protezione del SIC/ZPS Saline Punta della Contessa;
- b) realizzazione di un sistema di controllo idraulico della falda e di un impianto di trattamento delle acque di falda che verranno emunte dal sistema medesimo;
- c) impermeabilizzazione superficiale (capping) del corpo rifiuti.

I risultati delle indagini di caratterizzazione e di approfondimento condotte presso le *Aree* Syndial (2010 - 2011) e l'analisi degli stessi, svolta alla luce degli esiti della caratterizzazione della discarica Micorosa, hanno evidenziato il ruolo primario svolto dalla discarica nel determinare lo stato di contaminazione delle acque di falda sottostanti le *Aree* Syndial. Tali risultati sono dettagliati nei documenti [9], [10] e [11], già trasmessi a tutti gli enti competenti, e vengono riportati in maniera sintetica nel Capitolo 4 del presente POB.

In virtù della correlazione esistente tra lo stato qualitativo delle matrici ambientali delle *Aree* Syndial e dell'area Micorosa e al fine di completare la messa in sicurezza della falda nell'area Micorosa, su richiesta da parte del MATTM, Syndial, ancorché non responsabile della contaminazione correlata alla discarica Micorosa, ha dato la propria disponibilità a sviluppare ed eseguire un progetto coordinato con quello SOGESID. Scopo del presente progetto è quello di effettuare un intervento integrato e complementare focalizzato alla soluzione, permanente nel tempo, delle problematiche ambientali associate alla presenza delle matrici ambientali impattate, terreni ed acque di falda, delle *Aree Syndial* e terreni, rifiuti ed acque di falda dell'area a discarica di Micorosa.

In particolare Syndial si è resa disponibile a:

1. progettare e realizzare l'intervento di confinamento fisico nei lati nord ed ovest delle proprietà confinanti con Micorosa (lati Nord e Ovest dell'area H e lato Ovest dell'area E);
2. progettare e realizzare l'intervento di spostamento del canale Pandi (corso d'acqua effimero che scorre lungo il perimetro Sud dell'area Micorosa, al confine con l'Area Syndial denominata G);

3. progettare integralmente l'intervento di confinamento fisico nel lato Sud delle *Aree Syndial* confinati con Micorosa (lato Nord delle aree E e G);
4. realizzare quota parte (al momento stimata in 962 m, ma da definire con gli enti competenti) dell'intervento di cui al punto (3);
5. contribuire ai costi di gestione delle acque di falda che verranno emunte dai sistemi di controllo idraulico.

Sulla base di quanto sopra riportato, il presente documento costituisce il "Progetto Operativo di Messa in Sicurezza Permanente di parte delle aree esterne Syndial" (di seguito progetto MISPP *Aree Syndial*), sviluppato in maniera coordinata con il "Progetto di Messa in Sicurezza dell'area Micorosa" predisposto da SOGESID.

Si precisa che il progetto relativo alle *Aree Syndial*, come descritto nei capitoli che seguiranno, oltre a quanto indicato nei punti da 1 a 5, comprende anche ulteriori interventi finalizzati al controllo idraulico della falda ed al risanamento delle *Aree Syndial*.

Il presente progetto è stato redatto da URS con la collaborazione di professionisti che hanno curato alcune parti progettuali specialistiche; in particolare le attività di modellistica idrogeologica, finalizzate al dimensionamento delle opere idrauliche e alla verifica della funzionalità dell'opera, sono state curate dal Prof. Vincenzo Francani del Politecnico di Milano e dai suoi collaboratori.

Il progetto è strutturato nelle seguenti sezioni:

1. SCOPO DEL LAVORO E SOMMARIO
2. INQUADRAMENTO GENERALE
3. ATTIVITÀ DI CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE
4. RISULTATI DELLE CARATTERIZZAZIONI

Nei capitoli 3 e 4, al fine di fornire un quadro conoscitivo complessivo, si riassumono i risultati delle indagini ambientali eseguite nelle *Aree Syndial* e gli aspetti idrologici, geologici ed idrogeologici sito specifici.

5. MODELLO CONCETTUALE

Nella sezione si descrive il modello concettuale, quindi le sorgenti di contaminazione e le vie di diffusione e trasporto della stessa.

## 6. ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA

Nella sezione si illustrano i risultati dell'applicazione, per le *Aree Syndial*, dell'Analisi di Rischio sanitario ambientale, sito specifica, condotta ai sensi dell'Allegato 1 al Titolo V, Parte IV del Decreto Legislativo n. 152 del 3 Aprile 2006 e s.m.i..

## 7. STRATEGIA DEGLI INTERVENTI COORDINATI

Nella sezione si illustra lo screening degli interventi condotto e si descrive la soluzione scelta per la messa in sicurezza permanente delle *Aree Syndial*, coordinata con il progetto di messa in sicurezza dell'area Micorosa, predisposto da SOGESID.

## 8. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Nella sezione si descrivono gli interventi previsti nella soluzione progettuale selezionata, i cui approfondimenti sono contenuti negli allegati specialistici (Allegato 3, Allegato 4 e Allegato 5).

## 9. COLLAUDI DELLE OPERE

## 10. PIANO DI MONITORAGGIO

Nella sezione si illustra il piano di monitoraggio previsto per gli interventi realizzati.

## 11. CRITERI DI PROTEZIONE DEI LAVORATORI

## 12. PIANO TEMPORALE DEGLI INTERVENTI

Nella sezione si presenta il GANTT degli interventi a carico di Syndial.

## 12. COSTI DEGLI INTERVENTI DELLE AREE SYNDIAL

Nella sezione si presenta il computo metrico relativo ai soli interventi a carico di Syndial.



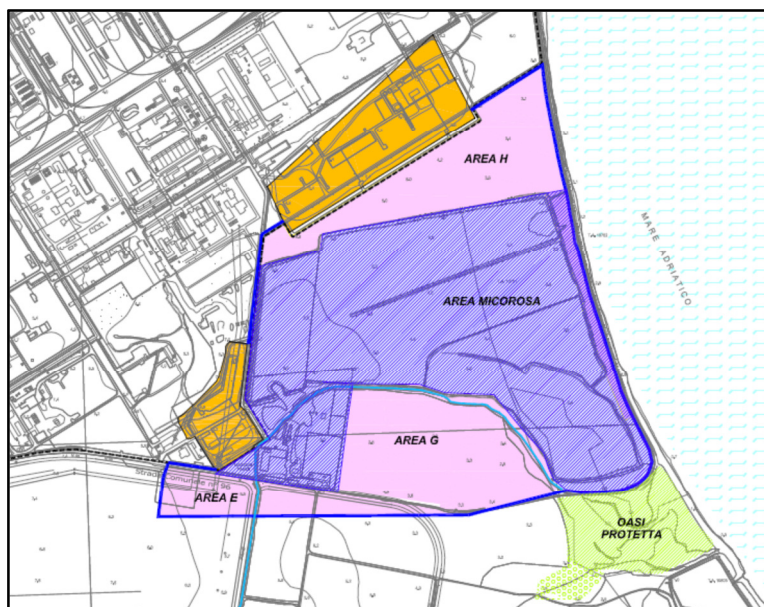
## 2. INQUADRAMENTO GENERALE

### 2.1. LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA

Le aree oggetto di questo progetto sono comprese nel Sito d'Interesse Nazionale (SIN) di Brindisi, ubicato nella piana compresa fra l'abitato di Brindisi ad ovest ed il Mare Adriatico ad est (Figura 2.1.1).

Il SIN di Brindisi è stato istituito con Decreto del Ministero dell'Ambiente del 10 gennaio 2000 (ai sensi del D.Lgs. 5.2.1997 n. n. 22) e comprende:

1. l'area in cui insiste lo stabilimento industriale di Brindisi;
2. un vasto territorio (240 ha) esterno allo stabilimento, costituito in parte da una discarica (50 ha) di proprietà della società Micorosa, fallita anni or sono ed in parte (190 ha) da aree brulle o ricoperte da vegetazione spontanea di proprietà Syndial;
3. il Parco Naturale Regionale "Saline della Punta Contessa" (al cui interno si trova anche tutta l'area discarica e la zona costiera a Sud dello stabilimento e di proprietà Syndial). Il parco è stato istituito con Legge regionale 23 Dicembre 2002 n. 28 (successiva alla perimetrazione del SIN) e comprende una serie di laghetti retrodunali paralleli alla vecchia linea di costa.



**Figura 2.1.1 - Localizzazione area d'intervento.**

Le Aree Syndial oggetto di questo progetto, come detto, sono una parte delle aree esterne allo stabilimento multisocietario, sono denominate "E", "H" e "G" rispettivamente e poste attorno alla discarica di Micorosa.

Lungo il perimetro Sud dell'area Micorosa scorre il Canale Pandi, un corso d'acqua effimero che rappresenta l'affluente principale dell'area umida denominata "Oasi protetta", un bacino idrografico di circa 2 ettari posto a ridosso delle dune costiere. In presenza di eventi meteorici di un certo livello, il Canale Pandi riceve anche le acque di ruscellamento di un'area di visibile sbancamento all'interno della discarica [11].

Gli eventi meteorici danno spesso origine a numerosi "specchi d'acqua superficiali", di natura effimera.

## 2.2. CARATTERISTICHE METEOCLIMATICHE

Il regime climatico dell'area è di tipo marittimo. Sulla base dei dati termo pluviometrici mensili reperiti presso i registri ARPA Puglia, riferiti al periodo 1931-2011, il valore medio delle piogge cumulate annuali è risultato essere pari a 590,5 mm/anno.

La velocità media annuale del vento, stimata sulla base delle velocità medie mensili rilevate nella stazione meteorologica di Brindisi nell'arco temporale compreso tra Gennaio 1990 e Dicembre 2008, risulta essere pari a 3,55 m/s. La direzione prevalente del vento in Sito è stimata verso N-NW .

## 2.3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Da un punto di vista geologico, l'area d'interesse ricade nell'ambito dell'Avampese apulo, costituito da una potente successione di rocce carbonatiche di piattaforma. In particolare, la Piana di Brindisi è inclusa in una vasta depressione strutturale nella quale si sono depositati sedimenti pleistocenici della Fossa Bradanica e del complesso di depositi di spiaggia e piana costiera terrazzati. Questi ultimi ospitano l'acquifero superficiale, che è confinato inferiormente dai termini argilloso-limosi della Fossa Bradanica i quali sono trasgressivi su una potente successione di calcari e dolomie di età cretacea, che ospitano l'acquifero profondo (Figura 2.3.1).

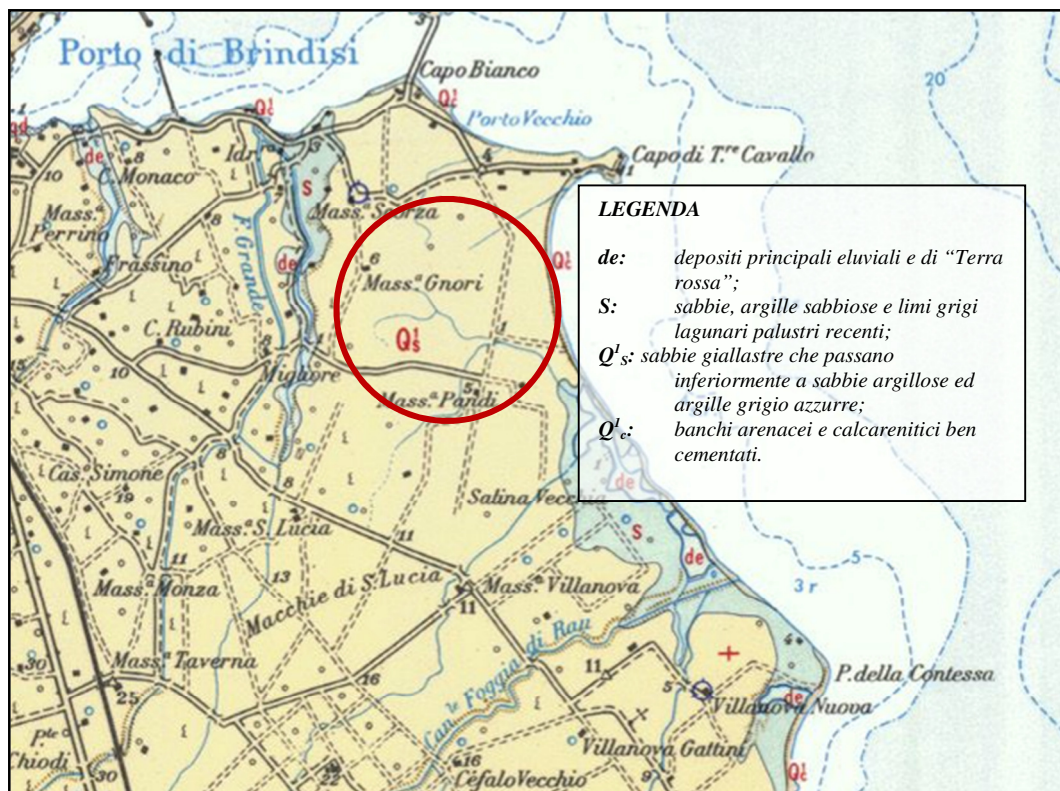


Figura 2.3.1 - Carta geologica (stralcio da "Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000, Fig. 204 – Lecce").

In particolare, la successione delle formazioni geologiche, dalle più antiche alle più recenti, è la seguente:

- Calcari di Altamura: calcari e calcari dolomitici e dolomie grigio chiare (Cretaceo). Questa formazione fa parte dei depositi mesozoici della piattaforma carbonatica apula. Costituisce l'imbasamento della penisola salentina e si estende in profondità per migliaia di metri.
- Calcareniti bianco-giallastre: depositi calcarenitici e calciruditici bioclasti (Miocene) parzialmente trasgressivi sui sottostanti Calcari di Altamura.
- Argille grigio-azzurre: argille passanti verso l'alto a limi argillosi e limi sabbiosi (Plio-Pleistocene). Costituiscono il substrato impermeabile base dell'acquifero superficiale della pianura di Brindisi. Poggiano in continuità di sedimentazione direttamente sulle calcareniti e localmente lungo superfici trasgressive sui depositi mesozoici dei calcari di Altamura.

- Depositi marini terrazzati: costituiti da limi argillosi, limi sabbiosi, sabbie, sabbie intercalate a livelli calcarenitici, rari livelli ghiaiosi (Pleistocene medio-superiore). Questa formazione è sede della falda superficiale sostenuta dalle sottostanti argille. Nella letteratura corrente è identificata come la Formazione di Gallipoli.
- Depositi alluvionali: depositi (Olocene) sabbioso-limosi e argillosi variamente distribuiti e affioranti principalmente nelle aree più depresse vicine alla costa, ricoprono localmente i depositi terrazzati di spessore variabile.

Nell'area di studio sussistono due sistemi idrogeologici distinti e separati [9]:

- acquifero superficiale con spessore variabile tra 10 e 15 m, con valori massimi di 37 m. L'acquifero è costituito dalle sabbie gialle dei depositi marini terrazzati e dalle sabbie grigie della parte sommitale dei depositi marini basali, caratterizzati da una permeabilità generalmente medioalta, con valori medi intorno a  $7,5E^{-5}$  m/s. Nell'acquifero scorre una falda freatica di portata non molto elevata e di carattere locale, rinvenuta a una profondità compresa tra 1 e 6 m da piano campagna (p.c.).
- acquifero profondo, costituito da rocce carbonatiche cretache, calcareniti e sabbie e delimitato superiormente dai depositi argillosi basali. Al suo interno vi è la falda profonda utilizzata per l'approvvigionamento idrico. La falda profonda defluisce verso la costa con un gradiente idraulico di 0,05 %.

I due acquiferi sono idraulicamente separati dalla presenza di uno strato argillo-limoso grigio-azzurro a bassa permeabilità riscontrato in tutti i sondaggi spinti a profondità superiori a 20 m dal p.c., la cui permeabilità stimata risulta essere compresa tra  $10^{-10}$  e  $10^{-11}$  m/s [9].

## 2.4. INQUADRAMENTO MORFOLOGICO

Morfologicamente le *Aree Syndial* si presentano come una vasta area pianeggiante il cui elemento geomorfologico principale è la presenza di una serie di superfici terrazzate, degradanti verso il mare. Le depressioni più o meno marcate della superficie topografica in prossimità della costa hanno risentito maggiormente delle oscillazioni del livello marino con il conseguente formarsi di lagune costiere ed aree palustri tuttora presenti.

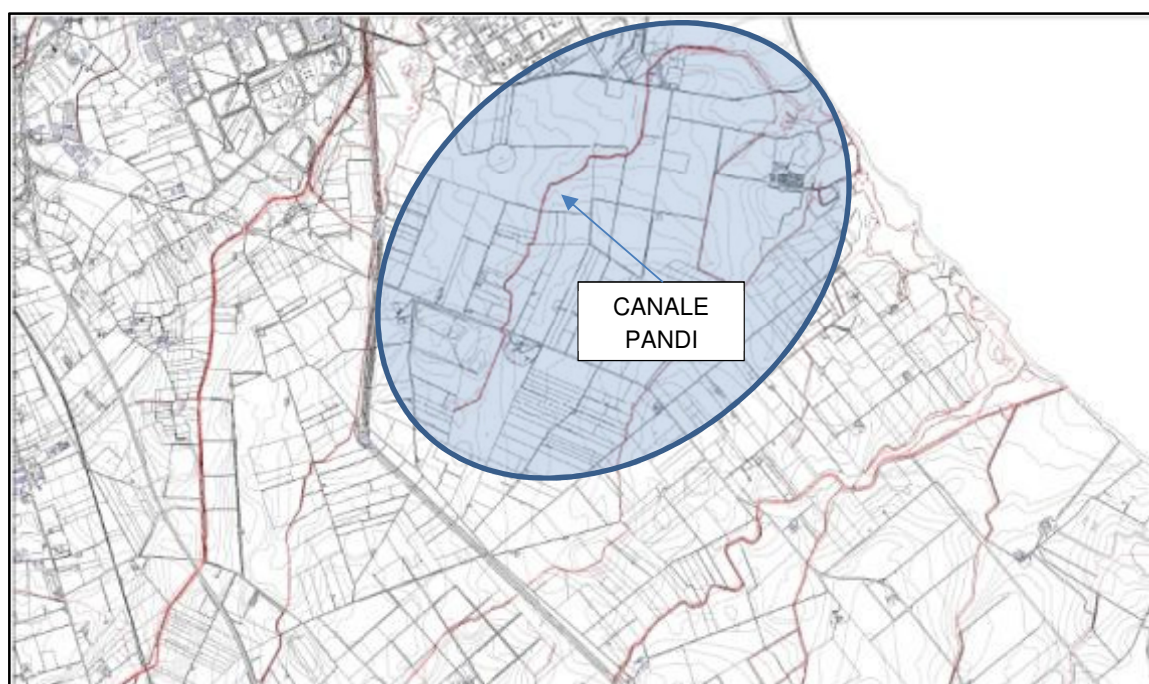


## 2.5. IDROGRAFIA LOCALE

Lungo il perimetro Sud dell'area Micorosa scorre il Canale Pandi (Figura 2.5.1), un corso d'acqua effimero che, nel suo percorso verso il mare, attraversa dapprima aree agricole, costeggia il confine meridionale dell'area Micorosa ed infine, si immette nell'area umida denominata "Oasi protetta", un bacino di circa 2 ettari posto dietro le dune costiere, di cui costituisce il principale affluente. La lunghezza complessiva è di oltre 3 km e la sezione è naturale, in terra, ad eccezione dei brevi tratti di attraversamento della viabilità.

In presenza di eventi meteorici importanti, il Canale Pandi riceve anche le acque di ruscellamento della discarica Micorosa [10].

Si riporta di seguito uno stralcio della corografia su Carta Tecnica del Comune (SIT Comune di Brindisi) con indicazione del bacino del canale Pandi.



**Figura 2.5.1– Corografia tratta dalla Carta Tecnica del comune di Brindisi.**

## 2.6. SISMICITÀ DELL'AREA

Negli ultimi anni la normativa sismica italiana, parallelamente a quella europea, ha subito una forte evoluzione per adeguarsi alle nuove conoscenze ed esperienze acquisite in ambito scientifico e per adottare nuove e più recenti metodologie di lavoro.

La normativa sismica (D.M. 16 Gennaio 1996) in Italia, anteriormente al Marzo 2003, suddivide il territorio nazionale in tre categorie di pericolosità (elevata, media e bassa). Per ciascuna categoria sono assegnati un grado di sismicità (S) ed un coefficiente di intensità sismica ( $C = (S^2)/100$ ). Lo spettro di progetto  $S_a(T)$  si ottiene moltiplicando il coefficiente C (pari a 0,10 g – 0,07 g – 0,04 g, in ordine decrescente di pericolosità sismica) per una forma spettrale  $R(T)$  indipendente dalle condizioni del sottosuolo.

Questa normativa sismica non tiene conto, però, del ruolo del terreno sulla modifica di forme ed ordinate spettrali, se non con la moltiplicazione dello spettro per il coefficiente di fondazione “e” che di regola è unitario, salvo che per “terreni particolarmente compressibili” per i quali si consiglia di incrementare “e” fino a 1,3.

L'Ordinanza N. 3274 del 20/03/03 e Norme Tecniche allegate, fa riferimento a metodologie più recenti in cui il moto sismico è caratterizzato anche in relazione alle condizioni locali. In tale direzione si è già mosso l'Eurocodice 8 (EC8) che stabilisce le regole per il progetto e la costruzione di strutture in zona sismica per i paesi membri della Comunità Europea. Secondo l'EC8, cos' come per l'OPCM n. 3274, i territori nazionali vengono suddivisi in zone sismiche in funzione della pericolosità locale, descritta in termini di accelerazione orizzontale massima attesa alla superficie di un sito rigido di riferimento ( $a_g$ ).

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g$ )
1	$a_g > 0,25$
2	$0,15 < a_g \leq 0,25$
3	$0,05 < a_g \leq 0,15$
4	$a_g \leq 0,05$

Allo stato attuale, la Regione PUGLIA, con DGR del 2 Marzo 2004, n. 153 “L.R. 20/00 – O.P.C.M. 3274/03 – Individuazione delle zone sismiche del territorio regionale e delle tipologie di edifici ed opere strategici e rilevanti – Approvazione del programma temporale e delle indicazioni per le verifiche tecniche da effettuarsi sugli stessi”, ha fornito alcune disposizioni

preliminari per l'attuazione dell'ordinanza, confermando la classificazione dei territori comunali pugliesi riportata nell'Ordinanza e l'adeguamento alle norme tecniche allegate.

In base al sopra citato decreto regionale il sito in oggetto ricade in una **zona sismica 4 con  $a_g < 0,025$  g.**

### 3. ATTIVITÀ DI CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE

Le *Aree Syndial* sono state oggetto di due campagne di caratterizzazione distinte:

1. la prima, generale, è stata condotta su tutte le aree esterne allo Stabilimento di Brindisi. Le indagini sono state eseguite tra Settembre 2009 e Luglio 2010 secondo quanto previsto nel [5], che recepisce le prescrizioni della Conferenza dei Servizi decisoria del 13/3/2006 e del 19/10/2006. I risultati delle indagini sono presentati nella "Relazione Tecnica Descrittiva delle Indagini di Caratterizzazione: Aree Esterne al Sito Multisocietario di Brindisi", Dicembre 2010 - ERM e TECNO IN [9];
2. la seconda si è, invece, focalizzata sulle *Aree Syndial*, oggetto di questo progetto. Le indagini sono state eseguite nel periodo Giugno 2011 – Aprile 2012. I risultati, riportati nel documento [11], redatto dal Politecnico di Milano in collaborazione con URS Italia, sono in accordo con quelli della caratterizzazione generale, ma più approfonditi e specifici per le *Aree Syndial*.

L'area Micorosa è stata oggetto di una campagna di caratterizzazione svolta dal Comune di Brindisi nel 2010 in base al D.Lgs. 152/06 [8]. I risultati sono riportati nel presente capitolo in quanto necessari per la definizione del modello concettuale (come già citato in Premessa e come verrà approfondito al Capitolo 5, la discarica di Micorosa costituisce una sorgente di contaminazione primaria per le *Aree Syndial*).

Nel presente capitolo si riporta una sintetica descrizione di tutte le indagini sopra richiamate. Nel capitolo successivo vengono sintetizzati i risultati di tutte le campagne eseguite, focalizzati esclusivamente sulle *Aree Syndial* e sull'Area Micorosa.

#### 3.1. CAMPAGNA D'INDAGINE GENERALE AREE SYNDIAL

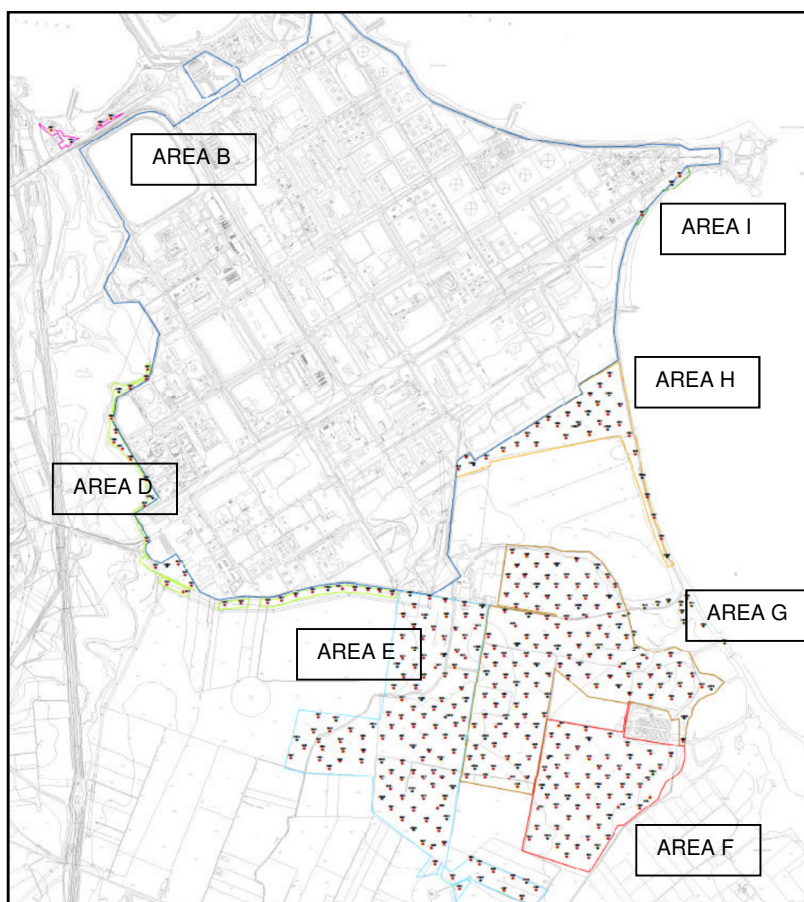
La campagna ha previsto la realizzazione di 394 sondaggi per il campionamento dei terreni, di cui:

- 321 superficiali spinti fino ad una profondità media di circa 3 m da p.c., con prelievo di 3 campioni per punto;
- 73 profondi spinti fino ad una profondità di 15 m da p.c. (il solo piezometro EP017 è stato spinto fino ad una profondità di 17 m da p.c.), con prelievo di 5 campioni per punto.



I 73 sondaggi profondi sono stati successivamente attrezzati a piezometro e campionati per la caratterizzazione delle acque di falda.

L'ubicazione delle suddette indagini è riportata in Figura 3.1.1 [9]. Per quanto riguarda i dettagli relativi agli intervalli di campionamento, alle caratteristiche costruttive dei piezometri, agli analiti analizzati, si rimanda alla documentazione progettuale [9].



**Figura 3.1.1 - Ubicazione dei punti di caratterizzazione delle aree esterne del sito di Brindisi.**

### 3.2. CAMPAGNA D'APPROFONDIMENTO NELLE AREE SYNDIAL

Le indagini d'approfondimento sono consistite in campagne di misure piezometriche e di monitoraggio idrochimico delle acque di falda per l'esecuzione delle quali sono stati realizzati 6

nuovi piezometri (spinti fino ad una profondità media di 15 m) ed è stato effettuato un coordinamento topografico per i piezometri Syndial tra la rete piezometrica interna ed esterna.

Le indagini di approfondimento sono inoltre consistite nella caratterizzazione idrochimica del canale Pandi e dei suoi sedimenti.

L'ubicazione delle indagini e dei punti di misura è riportata in Figura 3.2.1.

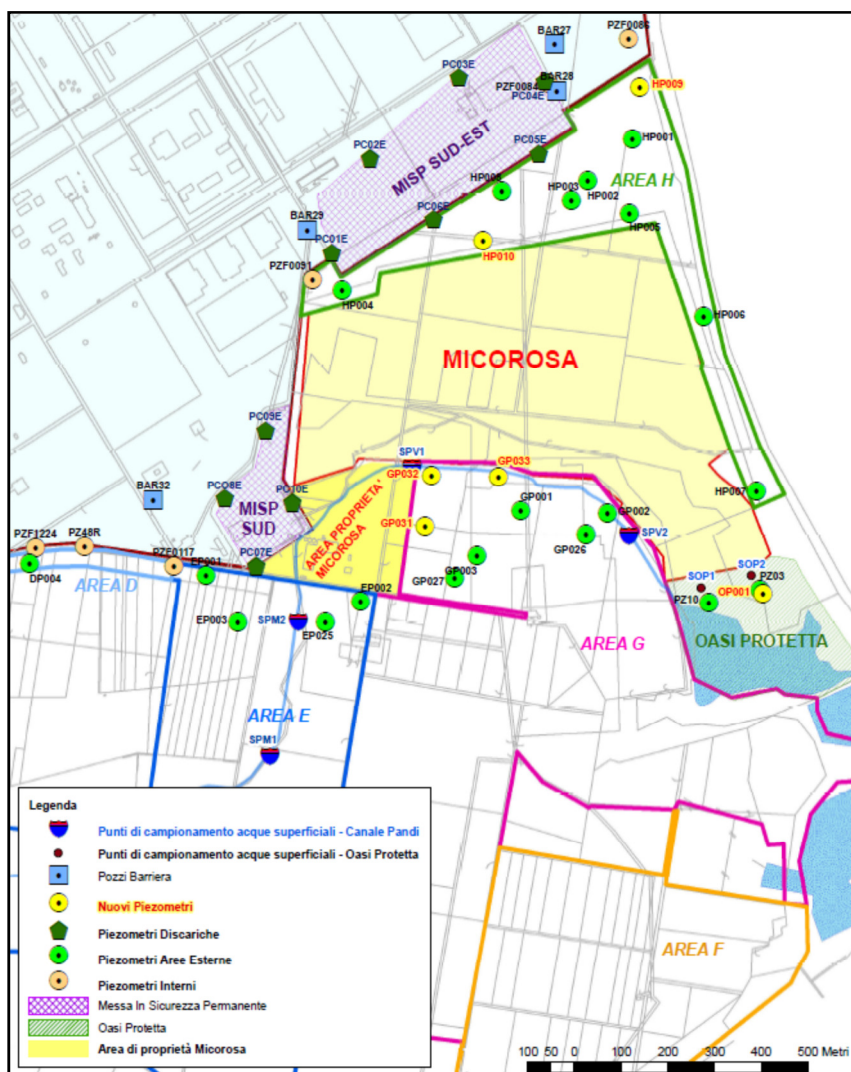


Figura 3.2.1 - Identificazione delle aree oggetto delle indagini di approfondimento [11].

### 3.2.1. CAMPAGNE PIEZOMETRICHE

Le campagne piezometriche sotto elencate sono state eseguite a partire dal mese di Luglio 2011 e fino al Gennaio 2012, a cadenza trimestrale, al fine di valutare le variazioni stagionali del carico idraulico:

- 12-14 Luglio 2011;
- 11-13 Ottobre 2011;
- 23-25 Gennaio 2012.

### 3.2.2. CAMPAGNA DI MONITORAGGIO IDROCHIMICO

Al fine di valutare lo stato qualitativo delle acque di falda nel periodo in esame sono state eseguite n°2 campagne di monitoraggio idrochimico, rispettivamente nel Luglio 2011 e nell'Aprile 2012.

Le attività di monitoraggio sono state effettuate su 60 punti ubicati nelle aree interne ed esterne allo Stabilimento di Brindisi e nell'Oasi Protetta. Nell'ambito degli approfondimenti compiuti nell'AREA H e nell'area G, il prelievo delle acque di falda è stato eseguito anche sui cinque nuovi piezometri HP009, HP010, GP031, GP032 e GP033.

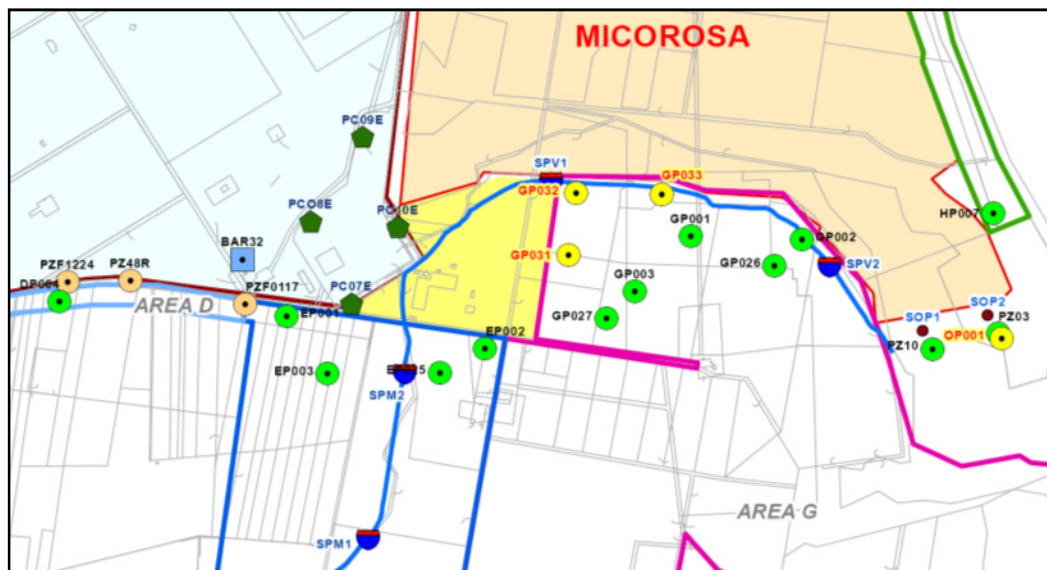
Il set analitico utilizzato durante i monitoraggi, risulta essere lo stesso adottato per la realizzazione delle indagini del Piano di Caratterizzazione messo in atto nel 2010, già approvato dalla Conferenza di Servizi del 13/3/2006 e coerente con le prescrizioni della CdS del 19/10/2006.

### 3.2.3. ACQUE SUPERFICIALI E SEDIMENTI DEL PANDI

Il Canale Pandi è stato oggetto di specifiche indagini di approfondimento svolte nel corso del 2011 [11], in quanto costeggia l'area Micorosa e ne riceve le acque meteoriche di ruscellamento attraverso un canale di scolo.

In particolare, 2 punti a monte (SPM1, SPM) e 2 punti a valle (SPV1, SPV2) del punto di immissione del canale di scolo di Micorosa sono stati campionati, lungo l'asta del canale Pandi, per verificare l'effettivo contributo di quest'ultimo alla propagazione di inquinanti tramite il

Nei punti SPV1 e SPV2 nel Luglio 2011, oltre alle acque, sono stati prelevati anche i sedimenti del Pandi.



**Figura 3.2.2 - Punti di campionamento delle acque del canale Pandi nel Marzo 2012 (SPM1, SPM2, SPV1, SPV2 [11]).**

### 3.3. CAMPAGNA D'INDAGINE IN MICOROSA

La campagna di caratterizzazione della discarica di Micorosa ha avuto luogo nel periodo Dicembre 2009 – Luglio 2010 secondo le modalità riportate nel [8].

La campagna di indagine ha previsto l'esecuzione di indagini dirette, consistenti nell'esecuzione di sondaggi e piezometri ambientali a carotaggio continuo con carotiere semplice a secco e senza fluidi di perforazione, nelle aste finalizzati al prelievo di campioni delle matrici ambientali suolo e sottosuolo, acque sotterranee e rifiuto, da sottoporsi a determinazioni analitiche.

## **4. RISULTATI DELLE CARATTERIZZAZIONI**

### **4.1. MORFOLOGIA E GEOLOGIA LOCALE**

Come risulta dalla Relazione Tecnica descrittiva delle indagini di caratterizzazione generale sulle aree esterne al Sito [9]:

- la porzione denominata “Macro-Area E” è costituita da aree brulle o ricoperte da vegetazione spontanea (circa 61,6 ha) ubicate a sud dello Stabilimento, circondate da campi;
- la porzione denominata “Macro-Area G” è costituita, anch’essa, da aree brulle o ricoperte da vegetazione spontanea (circa 68,2 ha) ubicate a sud est dello Stabilimento, confinanti a nord con la proprietà della Società Micorosa e ad est con il lago dell’Oasi Protetta e quindi, con la linea di costa;
- la porzione denominata “Macro-Area H” è costituita da aree (circa 18,4 ha) limitrofe al confine orientale dello Stabilimento, confinanti ad est con la fascia demaniale di spiaggia, a ovest con la proprietà della Società Micorosa, a nord e nord-ovest con lo Stabilimento e a sud con la zona denominata “Oasi Protetta”, facente parte delle proprietà Syndial e oggetto di indagine di investigazione separata, mediante Piano di Caratterizzazione approvato dalle Autorità nella Conferenza dei Servizi del 23 Luglio 2003.

Tutte le aree sopra elencate sono destinate ad uso industriale dal PRG del comune di Brindisi.

Al confine nord dell’Area G si trova il canale Pandi un corso d’acqua effimero. Il suo percorso segue inizialmente una direzione SSW-NNE per poi giungere a ridosso dell’argine meridionale dell’area Micorosa e correre parallelo ad esso in direzione E-W. Dall’area Micorosa fuoriesce un canale di scolo che si immette nel canale Pandi.

Il canale Pandi non giunge a mare, ma immette le sue acque nell’Oasi Protetta. L’area, di proprietà Syndial, è compresa tra l’Area G e la linea di costa e si estende su un’area di circa 9 ettari.

La stratigrafia dell’area d’interesse è stata ricavata sulla base delle informazioni disponibili [9]. In particolare, l’ubicazione di sondaggi/piezometri utilizzati per l’interpretazione geologica locale è riportata in Tavola 08, allegata fuori testo, mentre in Allegato 5 sono riportate le stratigrafie.

Sulla base delle suddette informazioni è possibile riconoscere, dall'alto verso il basso, la seguente stratigrafia (Tavola 08):

- da p.c. fino a profondità comprese tra circa 2,5 e 8,5 m da p.c., limo sabbioso (L) costituito generalmente da: suolo vegetale limoso sabbioso con resti di apparati radicali di colore bruno scuro, limo sabbioso localmente debolmente argilloso, generalmente contenente inclusi, di colore bruno e sabbia limosa giallo ocra da debolmente limosa a limosa generalmente priva di inclusi. Spessori variabili tra circa 2,5 e 8,5 m.
- da profondità comprese tra circa 2,5 e 8,5 m da p.c., a profondità comprese tra circa 8 e 16,0 m da p.c.:
  - sabbia con inclusi o calcarenite (SC\C) costituita generalmente da: sabbia giallo ocra da debolmente limosa a limosa, localmente debolmente argillosa, con inclusi numerosi clasti calcarenici da subcentimetrici a pluricentimetrici; localmente si rinvencono gusci di ostracodi in frammenti o interi; intercalata da banchi calcarenitici più o meno cementati con spessori variabili. Spessori variabili tra circa 5,5 e 8,0 m. Gli spessori maggiori si riscontrano nei settori nord-nordest rispetto all'area Micorosa (tratto CB) e ovest (tratto ED).
  - sabbia (S) costituita generalmente da: sabbia da debolmente limosa a limosa, giallo ocra, priva di inclusi. Spessori variabili tra circa 6,0 e 8,5 m.
- da profondità comprese tra circa 8,0 e 16,2 m da p.c., a profondità comprese tra circa 25,5 e 28 m (rilevate nei sondaggi profondi), sabbia (SL) costituita generalmente da: sabbia debolmente limosa localmente argillosa di colore grigio azzurro priva di inclusi. Spessori variabili tra circa 6,0 e 8,5 m (rilevati nei sondaggi più profondi).
- da profondità comprese tra 25 e 28 m dal p.c. a fondo foro a circa 30 m dal p.c. (massima profondità investigata), argilla (A) costituita generalmente da: argilla a tratti sabbioso-limosa di colore grigio azzurra, la componente sabbiosa diminuisce verso il basso.

Le indagini in Area Micorosa confermano sostanzialmente, anche per quest'area, la stratigrafia ricostruita per le *Aree Syndial* adiacenti, con l'importante eccezione di uno strato superficiale di circa 2 m costituito da rifiuto e materiali eterogenei di riporto.

#### 4.2. IDROGEOLOGIA LOCALE

La ricostruzione della morfologia della superficie freatica nelle *Aree Syndial* è basata su cinque campagne piezometriche eseguite tra Marzo 2010 e Gennaio 2012 [11]. Nonostante le



variazioni della ricarica nelle cinque campagne legate alla stagionalità, le direzioni di flusso e i gradienti idraulici si sono mantenuti pressoché costanti [11], come mostrato in Tavola 03.

L'analisi dei dati piezometrici evidenzia la presenza di un deflusso principale orientato da SO a NE, entrante da sud nella parte meridionale dello Stabilimento ed un orientamento delle linee isopiezometriche pressoché parallelo alla linea di costa in quasi tutte le *Aree Syndial* ubicate nella zona sud-occidentale.

Dall'entroterra nel senso di deflusso principale delle acque sotterranee, il gradiente idraulico assume inizialmente valori inferiori al 2 ‰, mantenendosi invariato anche nel tratto posto lungo il lato sud dello stabilimento; procedendo verso E-NE è presente una fascia, con andamento delle isopiezometriche parallelo alla costa, che mostra un aumento di gradiente fino al 6,25 ‰ (indicativamente tra EP009 e GP015). Proseguendo a valle di tale fascia, il gradiente si abbassa nuovamente avvicinandosi all'Oasi Protetta, ritornando su valori prossimi al 2 ‰.

Le due campagne piezometriche eseguite nell'area Micorosa tra Marzo e Luglio 2010 [8], nell'ambito della caratterizzazione compiuta dal Comune di Brindisi, hanno evidenziato in alcuni punti la presenza di consistenti alti piezometrici. Tale comportamento è ascrivibile alla presenza di materiale eterogeneo nei primi 2 - 3 m da p.c.

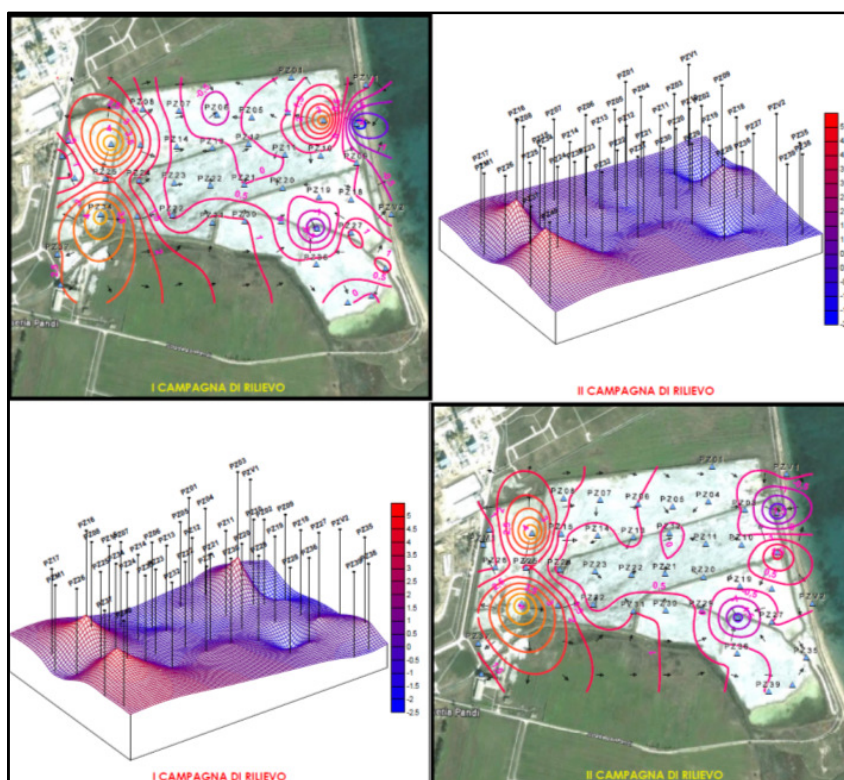


Figura 4.2.1 - Morfologia della falda nell'area Micorosa [8].

#### 4.3. STATO QUALITATIVO DELLE MATRICI AMBIENTALI

##### 4.3.1. AREE SYNDIAL

###### 4.3.1.1. Suoli

La contaminazione dei suoli è molto modesta. Dei n. 282 campioni di terreno prelevati nelle aree d'interesse, infatti, solo n. 12, ovvero il 4%, presentano eccedenze delle rispettive Concentrazioni Soglia di Contaminazione (di seguito CSC) e/o del valore di fondo per l'Arsenico (Tabella 4.3.1) (Tavola 02).

**Tabella 4.3.1 - Sintesi delle eccedenze riscontrate nei terreni nelle Aree Syndial in cui è previsto l'intervento di MISP.**

Area	n. campioni prelevati	n. campioni con eccedenze		Parametri
		Suolo superficiale	Suolo profondo	
E	42	-	-	-
		-	-	-
G	120	-	2	Arsenico
		-	4	Cloruro di vinile
H	120	2	3	Cloruro di vinile
		-	1	1,1-dicloroetilene
<b>TOT.</b>	<b>282</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	-

I contaminanti riscontrati sono:

- Arsenico in area G (suolo profondo);
- Cloruro di vinile in area G (suolo profondo) ed in area H (suolo superficiale e profondo);
- 1,1Dicloroetilene in area H (suolo profondo).

###### 4.3.1.2. Acque sotterranee

Le acque di falda sono risultate impattate principalmente da:

- idrocarburi alifatici clorurati, con concentrazioni massime dell'ordine delle decine di mg/l;
- clorobenzeni, con concentrazioni massime dell'ordine delle decine di mg/l;



- arsenico, con concentrazioni massime dell'ordine del mg/L.

Nella sottostante tabella, a titolo riassuntivo, vengono riportate le concentrazioni massime rilevate per questi principali contaminanti, nelle campagne 2011 e 2012.

**Tabella 4.3.2 - Eccedenze massime riscontrate nelle acque sotterranee per i principali contaminanti (campagne 2011 e 2012).**

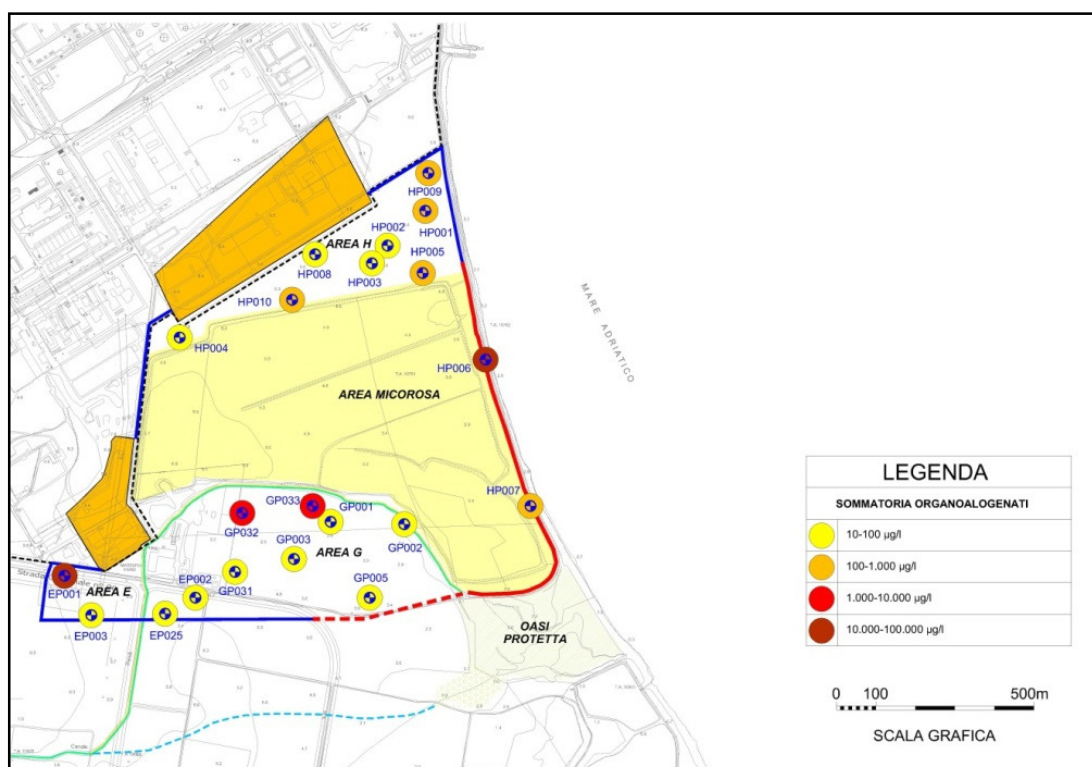
Area	Parametro	Massima concentrazione rilevata µg/l
E	METALLI	
	Arsenico	3,4 < CSC
	ORGANICI AROMATICI	
	Benzene	991
	Toluene	24
	ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI	
	Sommatoria organoalogenati	13.243*
	ALIFATICI CLORURATI NON CANCEROGENI	
	1,1-Dicloroetano	6.312
	1,2-Dicloroetilene	2.236
	1,1,2-Tricloroetano	4.806
	CLOROBENZENI	
	Clorobenzene	454
	1,4-Diclorobenzene	13
G	METALLI	
	Arsenico	474
	ORGANICI AROMATICI	
	Benzene	2.469
	Toluene	1.225
	ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI	
	Sommatoria organoalogenati	6.673*
	ALIFATICI CLORURATI NON CANCEROGENI	
	1,1-Dicloroetano	10.055
	1,2-Dicloroetilene	2.866
	1,1,2-Tricloroetano	1.930
	CLOROBENZENI	
	Clorobenzene	1.554
	1,4-Diclorobenzene	9,59
H	METALLI	
	Arsenico	1.015
	ORGANICI AROMATICI	
	Benzene	6.462
	Toluene	176
	ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI	
	Sommatoria organoalogenati	189.681*
	ALIFATICI CLORURATI NON CANCEROGENI	
	1,1-Dicloroetano	29.460
	1,2-Dicloroetilene	6.312
	1,1,2-Tricloroetano	119
	CLOROBENZENI	
	Clorobenzene	15.647
	1,4-Diclorobenzene	108

\* per la valutazione della concentrazione massima rilevata per il parametro "Sommatoria organoalogenati" si è scelto di non considerare la campagna di Luglio 2011, risultata anomala per il parametro Cloruro di Vinile [11].

Le figure seguenti (Figura 4.3.1, Figura 4.3.2 e Figura 4.3.3) riportano l'ubicazione dei punti di monitoraggio e le concentrazioni massime di contaminanti riscontrate nelle diverse campagne d'indagine.

Per quanto riguarda i composti clorurati, la contaminazione risulta principalmente ascrivibile a Cloruro di Vinile e Triclorometano. La concentrazione di tali composti è superiore fino a 5 ordini di grandezza alla CSC di riferimento, in particolare 5 ordini di grandezza in area H e 3 ordini di grandezza nelle aree E e G.

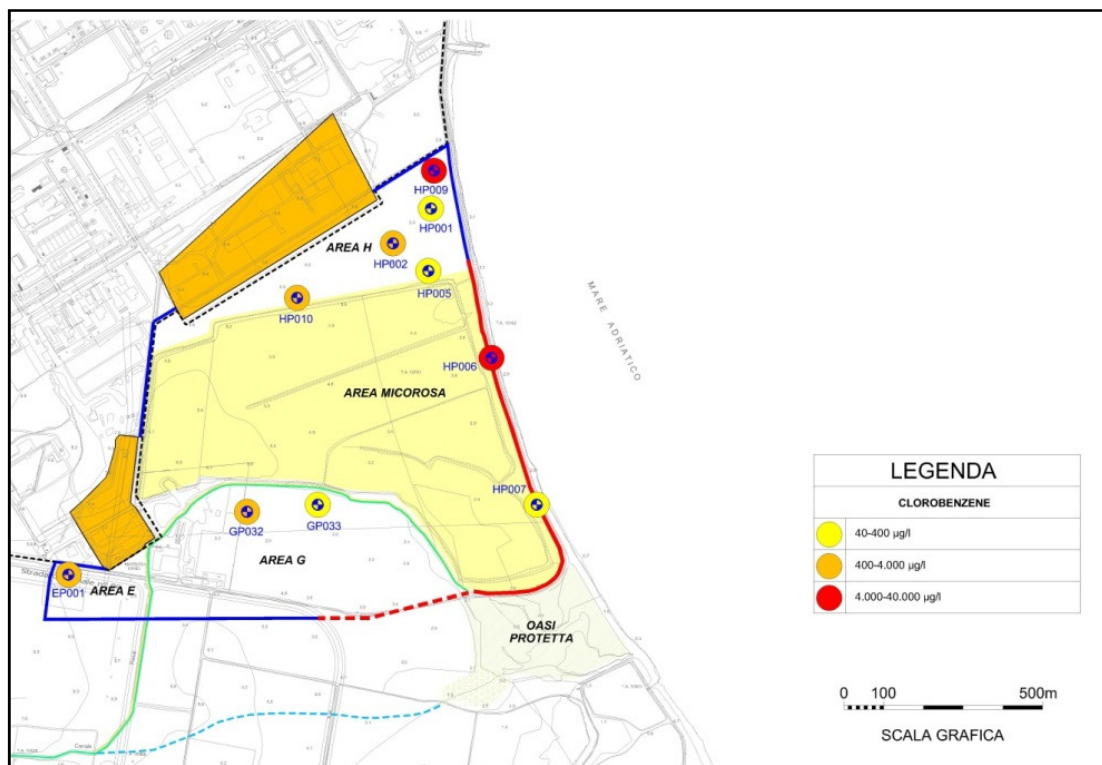
I punti più impattati sono posti lungo il confine con l'area Micorosa, in particolare, il piezometro HP006, a ridosso del mare.



**Figura 4.3.1 - Massima concentrazione rilevata dal 2009 al 2012 per il parametro sommatoria organoalogenati all'interno delle Aree Syndial.**

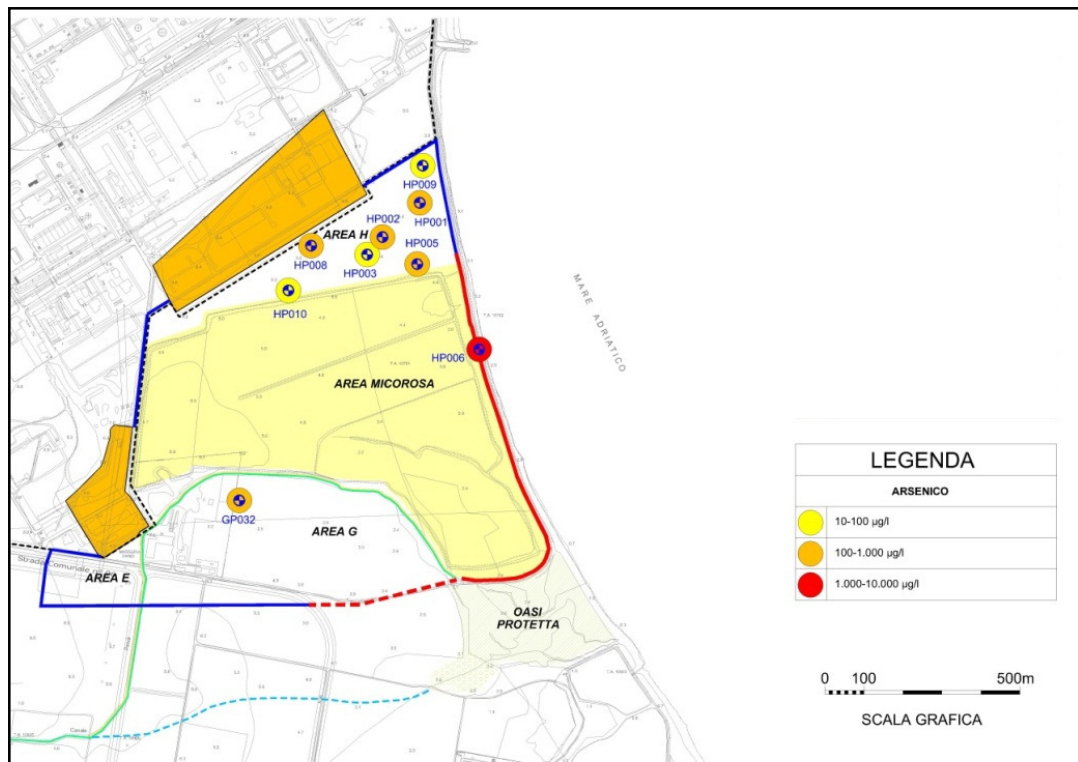
Per quanto riguarda i Clorobenzeni e gli Idrocarburi aromatici, le maggiori concentrazioni sono state rilevate in area H, in corrispondenza del piezometro HP006 posto lungo il confine con l'area Micorosa. In corrispondenza di tale piezometro sono stati riscontrati circa 6.000 µg/l di Clorobenzeni totali e circa 8.000 µg/l di Idrocarburi aromatici.

Per quanto riguarda i clorobenzeni, il parametro maggiormente presente è il Clorobenzene, che costituisce oltre il 90% della miscela di clorobenzeni.



**Figura 4.3.2 - Massima concentrazione rilevata dal 2009 al 2012 per il parametro clorobenzene all'interno delle Aree Syndial.**

La presenza di Arsenico è stata accertata in area H, nella quasi totalità dei piezometri, con concentrazioni di anche 2 ordini di grandezza superiori alle CSC di riferimento ed in area G, in corrispondenza del piezometro GP032.



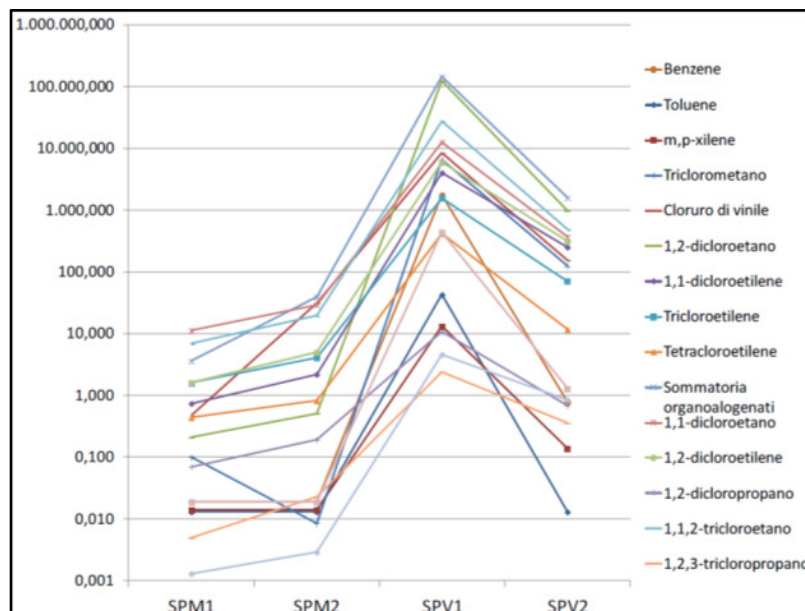
**Figura 4.3.3 - Massima concentrazione rilevata dal 2009 al 2012 per il parametro arsenico all'interno delle Aree Syndial.**

Nel corso delle varie campagne di monitoraggio sono anche stati riscontrati superamenti di manganese in tutte e tre le aree E, G ed H di interesse.

Inoltre, l'area H risulta caratterizzata anche dalla presenza di superamenti di ferro e l'area E di nitriti e fluoruri.

#### 4.3.1.3. Acque superficiali

Le analisi chimiche indicano che le concentrazioni dei parametri d'interesse, molto limitate a monte del punto d'immissione delle acque provenienti da Micorosa (SPV1), aumentano marcatamente in corrispondenza di tale punto. Le concentrazioni decrescono poi drasticamente, anche di alcuni ordini di grandezza, nei punti più a valle, prossimi all'Oasi Protetta (SPV2). Le concentrazioni lungo l'asta fluviale sono riportate in Figura 4.3.4 (si noti l'uso di una scala logaritmica per l'asse y).



**Figura 4.3.4 - Concentrazione di vari composti rilevati durante la campagna di marzo 2012 nelle acque superficiali del Pandi. I punti SPM1 e SPM2 si trovano a monte del punto d'immissione delle acque provenienti da Micorosa SPV1, mentre il punto SPV2 si trova a valle di SPV1 tratto da [11].**

I sedimenti del Pandi, campionati nei punti SPV1 e SPV2, non hanno mostrato superamenti delle CSC per i terreni.

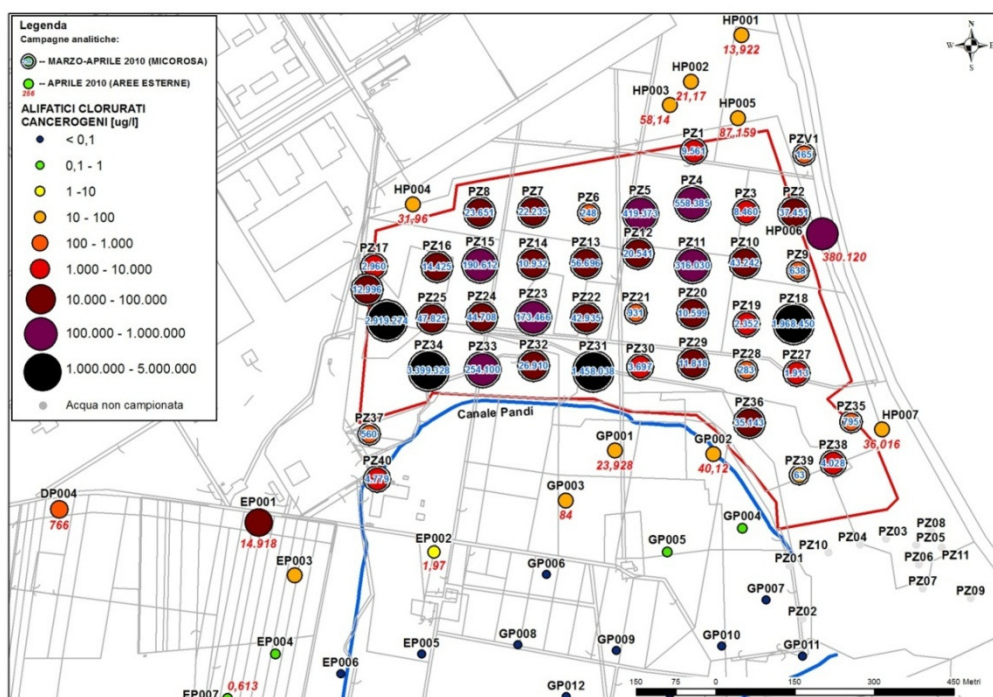
#### 4.3.2. AREA MICOROSA

La analisi eseguite nell'ambito della caratterizzazione condotta nell'Area Micorosa nel 2010, hanno evidenziato l'elevatissimo grado di contaminazione esistente in tale area, sia a carico dei terreni che delle acque sotterranee.

Nello specifico, le risultanze delle indagini condotte dal Comune sui terreni, hanno mostrato uno stato di contaminazione diffusa su tutta l'area principalmente per: metalli (i principali superamenti sono registrati per Arsenico, Stagno, Mercurio, Berillio e Selenio), idrocarburi totali ed aromatici, IPA, clorobenzeni ed idrocarburi alifatici clorurati.

Tali superamenti sono stati rilevati in tutti i livelli di campionamento: C1 - campioni prelevati tra 0-1 m; C2 - campioni prelevati tra 1-2 m; C3 - campioni prelevati tra 2-4 m; C4 - campioni prelevati tra 4-6 m; C4 - B campioni C4 prelevati tra 6-8 m.

Analogamente, le campagne analitiche sulle acque di falda, hanno mostrato una contaminazione ubiquitaria con superamenti delle CSC di vari ordini di grandezza diffusi su tutta l'area d'interesse per metalli, idrocarburi, clorobenzeni ed idrocarburi alifatici clorurati. La seguente Figura 4.3.5 evidenzia le elevate concentrazioni rilevate nelle acque di falda per i composti Alifatici Clorurati Cancerogeni nelle acque dell'area Micorosa.



**Figura 4.3.5 - Concentrazioni rilevate in falda nel 2010 all'interno dell'Area Micorosa e nelle Aree Syndial.**



## **5. MODELLO CONCETTUALE**

In questa sezione, sulla base di tutti i dati e delle informazioni derivanti dalle attività di caratterizzazione eseguite nelle *Aree Syndial* e nell'area Micorosa, viene illustrato il modello concettuale sito specifico, quindi le sorgenti di contaminazione, la loro origine e le vie di diffusione e trasporto della stessa.

### **5.1. GENESI DELLA CONTAMINAZIONE IN AREA MICOROSA**

Come detto, nell'ambito dello stabilimento petrolchimico di Brindisi, esercito a partire dal 1961 dalla Società Montecatini e successivamente da Montedison, l'area Micorosa fu adibita a luogo di recapito e smaltimento dei residui delle produzioni industriali.

In particolare, negli anni 1962-69 la Montecatini (poi Montedison) vi scaricò i fanghi di idrossidi di calcio provenienti dall'impianto Acetilene (P 16) di proprietà della società Polymer.

Gli Idrossidi di Calcio (che costituiscono, di per sé, un rifiuto inerte) venivano scaricati in sospensione acquosa, mediante una canaletta, in una serie di bacini dell'area Micorosa, realizzati con argini di terra intorno a invasi naturali. Tali depositi hanno contribuito a determinare un deposito di spessore valutato in circa 3 metri (2 metri dal piano campagna delle aree circostanti), con un volume di circa 1,5 milioni di m<sup>3</sup>.

L'impianto Acetilene venne definitivamente fermato nel 1969 con contestuale cessazione dell'invio a discarica dei fanghi di idrossido di calcio.

Nell'area Micorosa furono altresì scaricati fra il 1969 ed il 1975 anche i residui delle linee di produzione del PVC.

Anche questa produzione era inizialmente svolta dalla società Polymer, che nel periodo 1961-1968 (anno in cui venne incorporata in Montedison) produceva CVM da Dicloroetano (impianto steam cracking, impianto P15), da Acetilene (impianto P16).

A partire dal 1969, gli impianti di produzione P15 e P16 vennero sostituiti con un nuovo impianto per la produzione di Dicloroetano (da ossiclorurazione) e CVM (impianto P33, denominato DCE/OXY).

I residui liquidi provenienti dall'impianto DCE/OXY (ovvero le code clorurate) vennero scaricati da Montedison nell'area Micorosa negli anni 1969 - 75, per un volume stimato in circa 20.000 m<sup>3</sup>.

Le code clorurate venivano scaricate mediante una canaletta nel bacino più adiacente al muro di cinta dello stabilimento. Successivamente, a seguito di rilasci delle code clorurate dalla discarica verso l'adiacente canale Pandi, il punto di immissione fu spostato in un altro bacino, in posizione più distale rispetto al muro di cinta, prolungando la canaletta.

Lo scarico nell'area Micorosa di code clorurate – che non interagivano con gli Idrossidi di Calcio – venne a determinare accumuli di clorurati nelle crepe dei fanghi e/o sulla loro superficie, con susseguenti processi di evaporazione e polimerizzazione.

Le informazioni disponibili relative alla composizione qualitativa dei reflui, testimoniano che essi appartengono a quattro gruppi di composti organo-derivati:

- Organoclorurati bassobollenti: Cloruro di Vinile, Cloruro di Metile, 1,1 Dicloroetilene, 1,2 Dicloroetilene cis e trans;
- 1,2 Dicloroetano;
- Organoclorurati altobollenti: Trieline, Tricloroetani, Tetracloroetano, Pentacloroetano, Esacloroetano, Bromodicloroetano;
- Idrocarburi aromatici: miscele di solventi aromatici policiclici con punto di ebollizione compreso tra 180 °-190 °C fino a 240 °- 250 °C.

Gli scarichi di code clorurate, avvenuti fra il 1969 e il 1975 e provenienti dagli impianti Montedison facenti capo alla linea produttiva di PVC, sono dunque all'origine della contaminazione ambientale riscontrata nell'area Micorosa, sia per la formazione di svariati inquinanti cloro-organici durante la produzione dei composti di partenza (DCE e CVM), che per il rilascio di CVM e di altri additivi aggiunti nelle diverse fasi di produzione.

A partire dalla metà degli anni '70, venne a cessare l'utilizzo dell'area Micorosa come luogo di sversamento incontrollato delle code clorurate. Per inciso, tale data è anteriore sia a quella di entrata in vigore della normativa sugli effluenti liquidi (Legge 319/76) che a quella sui rifiuti (D.P.R. 915/82).

Parallelamente, a partire dal 1972/1973 nell'area Micorosa vennero convogliate le acque di lavaggio acide provenienti dall'impianto per la produzione di Anidride ftalica per ossidazione catalitica dell'orto-xilene (denominato P26), avviato nel 1972 ed attivo fino al 1980, che produceva code residue di Acido maleico e ftalico.

Questi scarichi fortemente acidi reagivano con l'idrossido di calcio presente in discarica (che costituisce una base), formando buche e verosimilmente cavità, visto che i reflui riemergevano in punti a valle di quelli di immissione.



## 5.2. MECCANISMI DI TRASPORTO DELLA CONTAMINAZIONE

Grazie alle indagini condotte sulle *Aree Syndial* (2009-2012) [9] [10] [11] ed alla caratterizzazione dell'Area Micorosa compiuta dal Comune di Brindisi [8] è stato possibile identificare le principali sorgenti di contaminazione e gli elementi essenziali del modello concettuale di trasporto degli inquinanti in falda.

In accordo con quanto descritto al Capitolo precedente, i risultati delle indagini hanno evidenziato la pressoché totale assenza di contaminazione dei terreni nelle *Aree Syndial*. Diversamente, nell'Area Micorosa sono stati riscontrati numerosi superamenti delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) nelle acque di falda (anche di diversi ordini di grandezza), evidenziando il ruolo cruciale svolto da tale area nel determinare lo stato di contaminazione delle acque di falda nelle aree ad essa circostanti.

I risultati relativi alla campagna analitica delle acque di falda eseguita nell'ambito della caratterizzazione condotta nell'Area Micorosa nel 2010, ha permesso di evidenziare l'elevatissimo grado di contaminazione esistente nelle acque sotterranee di tale area, principalmente per metalli, idrocarburi, clorobenzeni ed idrocarburi alifatici clorurati. La distribuzione delle concentrazioni, emersa dalla caratterizzazione dell'Area Micorosa, permette di ritenere che le principali sorgenti siano localizzate nella sua porzione centro-occidentale.

Le campagne piezometriche condotte nelle *Aree Syndial* e quelle condotte nell'Area Micorosa, hanno confermato le medesime direzioni principali di deflusso e morfologie piezometriche molto simili tra loro. In particolare, hanno permesso di accertare:

- l'esistenza di un deflusso delle acque di falda fuoriuscente dai confini nord ed est dell'area Micorosa, verso l'area H;
- l'influenza sull'area G delle acque di scolo contaminate fuoriuscenti da Micorosa e recapitate nel Canale Pandi, il cui alveo è confinato con la discarica [10];
- l'esistenza di alti piezometrici all'interno di Micorosa che determinano direzioni di deflusso radiali in grado di esportare contaminazioni verso le aree esterne limitrofe (area H, G ed E).

Sulla base dei risultati sopra esposti si ritiene che la quasi totalità dei superamenti delle CSC registrati nelle *Aree Syndial* abbiano origine dalle elevatissime contaminazioni presenti nei materiali stoccati nell'area di Micorosa ed al loro trasporto verso le aree confinanti, legato al deflusso radiale delle acque di falda. Date le direzioni di flusso della falda e le permeabilità rilevate nell'acquifero, il meccanismo di trasporto sotterraneo risulta essere di tipo advettivo-dispersivo.

Il modello di trasporto della contaminazione individua, nelle Aree Syndial, 3 zone principali (Zona HP006-HP007, Zona H e Zona nord aree E-G), con le seguenti caratteristiche:

- Zona HP006-HP007 – fascia di terreno compresa tra il confine est di Micorosa ed il mare. L'area è sottogradiente rispetto all'area Micorosa, all'interno della quale vengono riscontrate concentrazioni di ordini di grandezza superiori rispetto a quelle rilevate nei due piezometri HP006 e HP007. L'apporto dell'area Micorosa è pertanto evidente.
- Zona H – triangolo di terreno compreso tra Micorosa e confine Sud-Est dello Stabilimento. L'area è influenzata dai contaminanti, in particolare benzene, clorobenzene ed idrocarburi alifatici clorurati, presenti nell'area Micorosa nelle porzioni più prossime al suo argine nord. La presenza di arsenico in alcuni punti potrebbe diversamente essere legata ai processi biodegradativi di tali contaminanti ed alle conseguenti condizioni riducenti indotte. Attualmente per il settore nord-est di tale area è stata evidenziata l'influenza sul deflusso sotterraneo verso mare da parte dell'azione della barriera idraulica interna allo Stabilimento (in particolare BAR27, BAR28 e BAR53).
- Zona nord E e G – terreni a stretto ridosso dei confini sud dello Stabilimento e di Micorosa. Tale area può essere idealmente ripartita in 3 sottosettori caratterizzati da una differente contaminazione:
  - il primo settore è posto in prossimità del confine nord-ovest dell'area Micorosa. Vi ricade il piezometro EP001. La contaminazione è caratterizzata dalla presenza di Triclorometano e da una ben precisa distribuzione di Cloroetani e Cloroetileni. Come risulta dalla nettissima riduzione di concentrazione di tutti i contaminanti nei piezometri posti a est di questo punto, tale settore risulta protetto dall'azione della barriera idraulica dello Stabilimento (BAR32), ragione per cui alcuni piezometri interni presentano similitudini analitiche con EP001. Non si ritiene pertanto che, attualmente, i meccanismi advettivo-dispersivi possano determinare un trasporto in falda verso le aree poste ad Est di questo settore;
  - il secondo settore si estende da EP003 a GP003 e si distingue per la presenza di soli idrocarburi alifatici clorurati, con concentrazioni relativamente moderate la cui sommatoria risulta inferiore ai 60 µg/l.
  - il terzo settore, che si estende da GP032 a GP002, ovvero in prossimità ed a ridosso dell'area Micorosa (anche sottogradiente rispetto ad essa), risulta essere caratterizzato dalle contaminazioni più elevate. L'incremento delle concentrazioni rispetto ai settori sopra descritti posti più ad ovest, la ricomparsa di benzene/clorobenzene e la differente distribuzione delle percentuali dei

composti alifatici clorurati, attestano che la responsabilità della contaminazione riscontrata è da ascrivere alla discarica di Micorosa.

## 6. ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA

### 6.1. IMPOSTAZIONE METODOLOGICA

Il presente Capitolo descrive la procedura applicata ed i risultati dell'Analisi di Rischio (AdR) sanitario ambientale, sito specifica, condotta ai sensi dell'Allegato 1 al Titolo V, Parte IV del Decreto Legislativo n. 152 del 3 Aprile 2006 e s.m.i., per le aree E,G, H esterne allo stabilimento Multisocietario di Brindisi che ricadono entro il perimetro dell'area di intervento oggetto del presente progetto di MISP (*Aree Syndial*). Per il dettaglio, si veda l' Allegato 1 alla presente relazione.

La presente analisi di rischio aggiorna il documento *"Analisi di rischio ex D.Lgs. 152/06 e s.m.i. - Aree esterne al sito Multisocietario di Brindisi"* redatto da ERM nel Dicembre 2010, unicamente in relazione alla porzione delle cosiddette "aree esterne" di proprietà syndial che ricadono entro il perimetro dell'area di intervento oggetto del presente progetto di MISP (*Aree Syndial*) e tiene conto delle osservazioni riportate nel parere tecnico IS/SUO 2012/233 trasmesso da ISPRA con nota prot. n° 41286 del 31/10/2012, acquisita dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) con nota prot. n° 33734/TRI/DI del 7/11/12.

Ai fini di meglio comprendere l'approccio utilizzato per l'elaborazione della presente AdR, si riportano di seguito le osservazioni contenute nel parere tecnico di ISPRA sopracitato e le relative risposte:

- *la suddivisione in macroaree delle aree esterne di proprietà dell'Azienda non soddisfa i criteri di suddivisione in sub-aree riportati nel Manuale ISPRA "Criteri Metodologici", Rev 2. Alla luce delle condizioni geologiche/idrogeologiche locali, della contaminazione riscontrata e dell'uso delle aree, si ritiene necessario accorpate le macroaree E, F, G, determinando di conseguenza un potenziale incremento delle dimensioni delle sorgenti di contaminazione individuate e delle concentrazioni rappresentative alla sorgente. Pertanto si ritiene che, in riferimento alla geometria e alla contaminazione delle sorgenti, le ipotesi dell'Azienda possano essere poco cautelative e poco aderenti al caso reale.*

Nella presente analisi di rischio le aree E-G sono state accorpate mentre l'area F risulta ubicata esternamente al perimetro dell'area di intervento prevista e pertanto sarà oggetto di una successiva analisi di rischio specifica per le aree esterne di proprietà syndial che non ricadono all'interno del perimetro dell'area di intervento oggetto del presente progetto di MISP.

- *Ai fini della verifica delle dimensioni delle sorgenti si richiede riportare elaborati cartografici che indichino chiaramente la suddivisione delle aree oggetto dell'Analisi di Rischio mediante i Poligoni di Thiessen.*

Le Figure 02 e 03 riportate in Allegato 1 individuano i Poligoni di Thiessen centrati rispettivamente su tutti i sondaggi da cui sono stati prelevati campioni di terreno insaturo e su tutti i piezometri da cui sono stati prelevati campioni di acque sotterranee.

- *Si ricorda che la presenza attuale o prevista di sistemi di barriera idraulico per le acque di falda, non sono ritenuti sufficienti ad escludere il percorso di "lisciviazione in falda" da parte dei terreni insaturi. Per le considerazioni tecniche specifiche si rimanda alla Nota ISPRA NT/SUO 2011/223 "Osservazioni circa i criteri di esclusione del percorso di lisciviazione in falda" trasmessa al MATTM con nota prot. 21342 del 24/6/2011.*

Nell'elaborato in esame, il percorso di lisciviazione è stato escluso in quanto le aree in oggetto ricadono all'interno del perimetro del previsto confinamento fisico che permetterà la completa interruzione di questo percorso unitamente a quello relativo alla migrazione della fase dissolta.

- *In riferimento ai terreni saturi contaminati metalli, si richiede di verificare che la matrice terreno non costituisca una fonte primaria di contaminazione per le acque di falda attraverso l'esecuzione di test di cessione in conformità alla norma UNI 10802. Le metodologie analitiche utilizzate devono assicurare un limite di quantificazione uguale od inferiore al 30% delle CSC di Tabella 2 dell'Allegato 5 titolo V Parte IV D.Lgs. 152/06 e s.m.i. ed i risultati possono essere utilizzati anche in input al modello di trasporto per verificare gli effetti al punto di conformità.*

Per quanto riguarda il terreno saturo con eccedenze delle CSC dei metalli, nelle aree oggetto della presente analisi di rischio si rileva unicamente l'arsenico eccedente il valore di fondo naturale, stabilito con Decreto Direttoriale del MATTM del 11/12/2008, pari a 52,7 mg/kg:

- nel sondaggio G007 ad una profondità compresa tra 2 e 3 m da p.c., con una concentrazione pari a 151 mg/kg.
- nel sondaggio GP026 ad una profondità compresa tra 8 e 9 m da p.c., con una concentrazione pari a 54,1 mg/kg.

Premettendo che, in generale, gli obiettivi di bonifica per l'acquifero sono fissati sulla matrice falda, si ritiene non necessaria la stima di laboratorio del test di cessione, in quanto sono disponibili e maggiormente rappresentative le misure sperimentali del monitoraggio delle acque di falda.

Specificatamente, l'assenza di una significativa dissoluzione dell'arsenico dai terreni saturi che presentano eccedenze del valore di fondo alle acque di falda, è dimostrata sperimentalmente in quanto le acque sotterranee prelevate in corrispondenza dei superamenti rilevati nei terreni mostrano concentrazioni di arsenico inferiori alle CSC (Cfr. piezometri GP031 e GP026).

Si ricorda, in ogni caso, che il sistema di confinamento fisico previsto impedirà la migrazione delle acque all'esterno dell'area in esame.

- *In riferimento ai dati piezometrici di riferimento utilizzati per l'attribuzione dei campioni di terreno rispettivamente alla zona insatura e zona satura, si richiede di suffragare l'affermazione secondo cui il mese di Luglio 2010 rappresenti il "minimo" di precipitazione, mediante una serie storica di dati pluviometrici sufficientemente consistente (30 anni).*

L'attribuzione dei campioni di terreno rispettivamente alla zona insatura e zona satura è stata effettuata sulla base delle evidenze emerse in fase di caratterizzazione, unitamente alla valutazione effettuata sulla base delle misure di soggiacenza della falda disponibili, rappresentative di un arco temporale di 4 anni (dal 2009 al 2012).

- *Si ricorda che il "Protocollo ISPRA-INAIL (ex ISPESL) per la valutazione del rischio associato all'inalazione di vapori e polveri in ambienti aperti e confinati nei siti di bonifica" è ritenuto allo stato attuale non applicabile, in quanto in fase di sostanziale revisione. Pertanto gli esiti delle campagne di monitoraggio dell'aria ambiente effettuati non si ritengono significativi ai fini dell'esclusione di rischi associati all'inalazione di vapori. In generale si ritiene comunque che, ai fini della valutazione dell'esposizione dei recettori, una sola campagna di monitoraggio dell'aria ambiente non sia sufficiente a caratterizzare esposizioni a lungo termine.*

Per quanto attiene la verifica sperimentale del percorso di inalazione vapori, anche nelle more della revisione del "Protocollo ISPRA-INAIL (ex ISPESL) per la valutazione del rischio associato all'inalazione di vapori e polveri in ambienti aperti e confinati nei siti di bonifica", nell'elaborato in oggetto è stato seguito l'approccio definito dagli stessi "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio assoluta ai siti contaminati", rev.2, 2008, che indicano tra le opzioni di verifica del percorso anche il campionamento dell'aria ambiente come segue:

*"Si evidenzia che le equazioni per il calcolo dei fattori di volatilizzazione, in ambienti aperti (outdoor) e chiusi (indoor) rappresentano la capacità attuale di descrizione matematica dei fenomeni nell'ambito di applicazione di un Livello 2 di Analisi di Rischio. Laddove l'applicazione di tali equazioni determini un valore di rischio non accettabile per la via di esposizione inalazione di vapori outdoor e/o indoor, dovranno essere eventualmente previste campagne di indagini (misure di soil-gas, campionamenti dell'aria indoor e outdoor) allo scopo di verificare i risultati ottenuti mediante l'applicazione del modello di analisi di rischio."*

Alla luce della conformità dell'approccio proposto nell'AdR in oggetto con i criteri metodologici, poiché non è possibile effettuare il campionamento dei gas interstiziali vista la prossimità della falda al piano campagna, Syndial ha ripetuto il campionamento dell'aria ambiente per verificare i risultati ottenuti mediante l'applicazione del modello ed i risultati sperimentali del primo campionamento dell'aria ambiente in aria H che hanno mostrato la trascurabilità del percorso di inalazione vapori. Syndial si rende comunque disponibile a svolgere un programma di monitoraggio volto a confermare la trascurabilità del percorso in questione.

- *Riguardo all'utilizzo del "box model equivalente" determinato in base al modello di Gauss, si ritiene che tale modello non sia sufficientemente accreditato e validato a*

*livello internazionale e pertanto, ai sensi della normativa vigente (All. 1 D.Lgs. 152/06 e s.m.i.), non opportuno all'interno della procedura di Analisi di Rischio. Si osserva inoltre che le stime dei rischi associati alla contaminazione riscontrata, mediante l'utilizzo di tale modello, risultano a sfavore di sicurezza rispetto al "box model" previsto dagli standard ASTM E 1739/95 e ASTM E2081/00, indicati quali documenti di riferimento all'interno del succitato All. 1.*

Il modello utilizzato deriva da un'applicazione ripetuta del modello di Gauss per sorgente puntiforme alle varie aree della sorgente (quelle a distanza oltre i 50 m) e assumendo, cautelativamente, larghezza della sorgente infinita.

## 6.2. SINTESI DEL MODELLO CONCETTUALE

Con riferimento alle *Aree Syndial*, La presente analisi di rischio ha preso in considerazione quali contaminanti potenzialmente pericolosi per la salute umana (COPCs), le sostanze determinate in concentrazione superiore agli standard definiti dalla legge, nella fattispecie, le CSC per terreni ad uso commerciale/industriale e per le acque sotterranee, riportate dal D.Lgs. 152/06. Per quanto attiene l'arsenico nei terreni, il limite di riferimento utilizzato è il valore di fondo naturale, stabilito con Decreto Direttoriale del MATTM del 11/12/2008, pari a 52,7 mg/kg.

Al fine dell'identificazione dei COPCs per i suoli, sono state considerate le campagne di caratterizzazione condotte nel 2009 e nel 2010. L'unico COPC rilevato nei terreni insaturi delle aree in esame è il cloruro di vinile, rilevato nei sondaggi HP006 e HP007 che sono ubicati nell'area che sarà coperta con capping.

Al fine dell'identificazione dei COPCs per le acque sotterranee, sono state considerate le eccedenze delle CSC rilevate durante le campagne di monitoraggio condotte negli ultimi due anni (Giugno-Luglio 2011, Novembre 2011 e Marzo-Aprile 2012) nelle aree E-G ed H esterne al capping. Per quanto riguarda il cloruro di vinile, il documento "*Indagini di approfondimento per la caratterizzazione delle aree Esterne syndial E, G, H*" Politecnico di Milano, Novembre 2012, ha mostrato un'anomalia delle concentrazioni rilevate nella campagna di Giugno-Luglio 2011, attribuibile a errori casuali riconducibili al campionamento o all'analisi. Pertanto, relativamente al cloruro di vinile, i dati relativi alla campagna di Giugno-Luglio 2011 non sono stati considerati.

I COPCs individuati sono di seguito riportati:

- Arsenico
- Benzene
- Etilbenzene
- Stirene



- Toluene
- Xilene, o-
- Xilene, m,p-
- Cloroformio
- Cloruro di vinile
- 1,2-Dicloroetano
- 1,1-Dicloroetilene
- Tricloroetilene
- Tetracloroetilene (PCE)
- Esaclorobutadiene
- 1,1-Dicloroetano
- 1,2-dicloroetilene
- 1,2-Dicloropropano
- 1,1,2-Tricloroetano
- 1,2,3-Tricloropropano
- 1,1,2,2-Tetracloroetano
- Diclorometano
- Monoclorobenzene
- 1,4-Diclorobenzene
- Idrocarburi Totali

Sulla base delle aree di intervento previste dal presente *“Progetto operativo di messa in sicurezza permanente di parte delle aree esterne Syndial – Stabilimento di Brindisi”*, sono state individuate:

- due sorgenti di contaminazione secondarie nel suolo insaturo superficiale in corrispondenza dei sondaggi HP006 e HP007 che presentano cloruro di vinile in concentrazione eccedente la CSC (Figura 02 – Allegato 1);
- due sorgenti per le acque sotterranee in corrispondenza delle aree E-G e dell'area H, separate di circa 500 m dall'intervento di capping previsto nel presente documento (Figura 03 – Allegato 1). Entrambe queste sorgenti sono caratterizzate dalla presenza dei medesimi COPCs sopra riportati, fatta eccezione per Etilbenzene, Stirene, Diclorometano e Idrocarburi Totali rilevati unicamente in area E-G.

In accordo con le procedure previste dal D.Lgs. 152/06, sono stati identificati i potenziali bersagli della contaminazione presente nel suolo e nel sottosuolo del sito, nello scenario attuale industriale. Poiché le aree in esame sono aree non produttive, esterne al perimetro dello stabilimento multisocietario, i recettori che possono entrare in contatto con le sorgenti di contaminazione precedentemente definite, sono i lavoratori occasionali che opereranno all'interno dell'area confinata per operazioni di manutenzione / campionamento, ecc. Inoltre, sono presenti i recettori off-site, ovvero i lavoratori dello stabilimento multisocietario adiacente alle aree oggetto di questa analisi di rischio.

I potenziali percorsi di migrazione della contaminazione rilevata nelle aree oggetto alla presente analisi di rischio sono i seguenti.

- emissione di particolato da suolo superficiale (SS): tale percorso risulta interrotto dalla presenza del capping che secondo il presente POB verrà posto al di sopra delle sorgenti secondarie individuate nei terreni superficiali che mostrano eccedenze delle CSC per il cloruro di vinile, ubicate in corrispondenza dei sondaggi HP006 e HP007;
- volatilizzazione di vapori dai terreni superficiali: questo percorso risulta interrotto dalla presenza del capping che secondo il presente POB verrà posto al di sopra delle sorgenti secondarie individuate nei terreni superficiali che mostrano eccedenze delle CSC per il cloruro di vinile, ubicate in corrispondenza dei sondaggi HP006 e HP007;
- volatilizzazione di vapori dalle acque sotterranee: questo percorso è attivo per le sostanze organiche volatili rilevate nelle acque sotterranee;
- lisciviazione dal terreno alle acque di falda e migrazione orizzontale della contaminazione dissolta in falda: i percorsi risultano interrotti dall'intervento di confinamento fisico che sarà realizzato sull'area in esame.

Alla luce delle considerazioni sopra esposte non sussistono percorsi di esposizione attivi dai terreni insaturi e l'unico percorso d'esposizione completo cui i lavoratori on site e off site sono potenzialmente esposti è rappresentato dall'inalazione di vapori outdoor dalle acque sotterranee.

### 6.3. RISULTATI

Il calcolo delle CSR è stato effettuato, in accordo con il D.Lgs. 152/06 e s.m.i., per gli scenari e per i percorsi d'esposizione selezionati, considerando, per l'accettabilità del rischio, i seguenti limiti:

- Sostanze cancerogene:  $1 \times 10^{-6}$  per la singola sostanza;  
 $1 \times 10^{-5}$  per il rischio cumulato;
- Sostanze non cancerogene: 1 (singolo e cumulato).

Le CSR sono quindi state calcolate solo per le sostanze organiche volatili rilevate nelle due sorgenti individuate nelle acque sotterranee.

Le tabelle seguenti riportano il confronto tra le concentrazioni rappresentative e le CSR calcolate rispettivamente per l'area sorgente E-G e per l'area H. Si ricorda che l'arsenico è un composto non volatile e che il percorso di inalazione di vapori non risulta attivo per tale sostanza. Pertanto, la CSR per l'arsenico non è stata calcolata.

**Tabella 6.3.1 – CSR, Acque sotterranee area E-G.**

COPCs	Crapp (mg/l)	CSR (mg/l)
Benzene	5,0E-1	1,3E+1
Etilbenzene	2,8E-1	1,7E+2
Stirene	2,1E-2	3,1E+2
Toluene	6,2E-1	5,3E+2
o-Xilene	1,3E-1	1,8E+2
m,p-Xilene	3,7E-1	1,9E+2
Triclorometano (cloroformio)	7,3E+0	6,9E+0
Cloruro di vinile	6,4E+1	3,8E+0
1,2-Dicloroetano	9,8E-1	9,6E+0
1,1-Dicloroetilene	7,0E+0	7,4E-1
Tricloroetilene	2,0E+0	4,0E+1
Tetracloroetilene (PCE)	9,1E-1	8,0E+0
Esaclorobutadiene	1,4E-3	3,2E+0
1,1-Dicloroetano	2,2E+0	5,1E+3
1,2-dicloroetilene	2,9E+0	1,8E+2
1,2-Dicloropropano	7,2E-3	8,9E+0
1,1,2-Tricloroetano	2,4E+0	2,0E+1
1,2,3-Tricloropropano	5,0E-4	2,8E-1
1,1,2,2-Tetracloroetano	5,7E-4	1,0E+1
Diclorometano	7,3E-1	1,0E+1
Monoclorobenzene	6,8E-1	4,7E+2
1,4-Diclorobenzene	2,5E-3	3,3E+1
Idrocarburi Totali	3,2E-1	8,3E+0

**Tabella 6.3.2 – CSR, Acque sotterranee area H.**

COPCs	Cmax (mg/l)	CSR (mg/l)
Benzene	1,3E+0	1,6E+1
Toluene	6,3E-2	5,3E+2
o-Xilene	4,1E-2	1,8E+2
m,p-Xilene	2,6E-2	1,9E+2

COPCs	Cmax (mg/l)	CSR (mg/l)
Triclorometano (cloroformio)	3,2E-1	6,3E+0
Cloruro di vinile	7,3E-1	4,2E+0
1,2-Dicloroetano	7,6E-2	1,3E+1
1,1-Dicloroetilene	6,6E-2	6,5E-1
Tricloroetilene	5,1E-2	4,9E+1
Tetracloroetilene (PCE)	3,3E-2	9,7E+0
Esaclorobutadiene	2,4E-4	3,2E+0
1,1-Dicloroetano	1,0E+0	5,1E+2
1,2-dicloroetilene	1,8E-1	7,4E+2
1,2-Dicloropropano	1,5E-3	1,1E+1
1,1,2-Tricloroetano	6,6E-2	2,8E+1
1,2,3-Tricloropropano	4,1E-4	4,2E-1
1,1,2,2-Tetracloroetano	8,5E-4	1,5E+1
Monoclorobenzene	1,6E+1	4,7E+2
1,4-Diclorobenzene	2,9E-2	4,3E+1

Dal confronto tra le concentrazioni rappresentative (Crapp) e le CSR si evince che:

- in area E-G: i composti Triclorometano, Cloruro di vinile e 1,1-Dicloroetilene sono presenti nelle acque in concentrazioni superiori alle CSR calcolate;
- in area H le concentrazioni rappresentative delle sostanze presenti sono sempre inferiori alle CSR calcolate.

Nella tabella sottostante si riporta il confronto tra le concentrazioni di Triclorometano, Cloruro di vinile e 1,1-Dicloroetilene rilevate nelle tre campagne di Giugno/Luglio 2011, Novembre 2011 e Marzo/Aprile 2012 che eccedono le CSR. In particolare, si segnala che nell'ultima campagna di Marzo/Aprile 2012 sono stati rilevati superamenti delle CSR unicamente nel piezometro GP032 per Cloruro di vinile ed 1,1-Dicloroetilene.

**Tabella 6.3.3 - Superamenti delle CSR, Acque sotterranee area E-G.**

COPC	CSR (µg/L)	EP001			GP032			GP033		
		giu-lug 2011	Nov 2011	mar-apr 2012	giu-lug 2011	nov 2011	mar-apr 2012	giu-lug 2011	Nov 2011	mar-apr 2012
Triclorometano (cloroformio)	6931	<b>8281</b>	6468	6,76	-	-	-	-	-	-
Cloruro di vinile	3752	-	-	-	nu*	3634	<b>4280</b>	-	-	-

COPC	CSR (µg/L)	EP001			GP032			GP033		
		giu-lug 2011	Nov 2011	mar-apr 2012	giu-lug 2011	nov 2011	mar-apr 2012	giu-lug 2011	Nov 2011	mar-apr 2012
1,1-Dicloroetilene	738	<b>796</b>	447	50,5	<b>8276</b>	713	<b>844</b>	<b>789</b>	5.8	446

\*nu: dato non utilizzabile in quanto attribuibile a errori casuali riconducibili al campionamento o all'analisi

Come già evidenziato nell'introduzione all'analisi di rischio, per quanto attiene la verifica sperimentale del percorso di inalazione vapori, i *“Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio assoluta ai siti contaminati”*, rev.2, 2008, indicano tra le opzioni di verifica del percorso anche il campionamento dell'aria ambiente, come segue:

*“Si evidenzia che le equazioni per il calcolo dei fattori di volatilizzazione, in ambienti aperti (outdoor) e chiusi (indoor) rappresentano la capacità attuale di descrizione matematica dei fenomeni nell'ambito di applicazione di un Livello 2 di Analisi di Rischio. Laddove l'applicazione di tali equazioni determini un valore di rischio non accettabile per la via di esposizione inalazione di vapori outdoor e/o indoor, dovranno essere eventualmente previste campagne di indagini (misure di soil-gas, campionamenti dell'aria indoor e outdoor) allo scopo di verificare i risultati ottenuti mediante l'applicazione del modello di analisi di rischio.”*

Poiché nelle aree in esame non è possibile effettuare il campionamento dei gas interstiziali vista la prossimità della falda al piano campagna, syndial nell'Agosto 2013 ha ripetuto il campionamento dell'aria ambiente in area H per verificare i risultati sperimentali del primo campionamento del Dicembre 2010 e nel Settembre 2013 ha attivato il campionamento di aria ambiente in corrispondenza di GP032.

I risultati hanno evidenziato la trascurabilità del percorso di inalazione vapori.

Syndial trasmetterà quindi agli Enti preposti un Piano di Monitoraggio dell'aria ambiente atto a verificare nel tempo, tenendo conto anche delle variazioni stagionali della falda, il permanere delle condizioni di assenza di rischio da inalazione vapori.

## **7. STRATEGIA DEGLI INTERVENTI COORDINATI**

Sulla base di quanto emerso dalle indagini e dagli studi condotti sulle *Aree Syndial* e sull'area Micorosa, è risultato evidente, come descritto nei capitoli precedenti, l'impatto della discarica sulla aree limitrofe, in termini di contaminazione, ed uno stato ambientale complessivo fortemente compromesso.

In tale contesto Syndial, come dettagliato nell'introduzione, ha accolto l'invito del MATTM a valutare una soluzione di risanamento delle *Aree Syndial*, coordinato con il progetto di messa in sicurezza dell'area Micorosa del Comune di Brindisi e predisposto dalla società SOGESID.

In quest'ottica, al fine di sviluppare un progetto coordinato, Syndial ha valutato le possibili alternative applicabili e, a fronte di specifiche valutazioni circa la sostenibilità tecnico, economica ed ambientale delle diverse ipotesi, ha selezionato la soluzione tecnica ritenuta più idonea.

Si riportano di seguito le alternative tecniche valutate e la strategia d'intervento selezionata.

### **7.1. ANALISI DELLE ALTERNATIVE APPLICABILI**

In forza della Delibera CIPE 87/2012, il Comune di Brindisi, dopo aver effettuato la caratterizzazione della discarica, ha avviato la progettazione delle opere per la Messa In Sicurezza Permanente dell'area. L'intervento, affidato a SOGESID, consiste sinteticamente in:

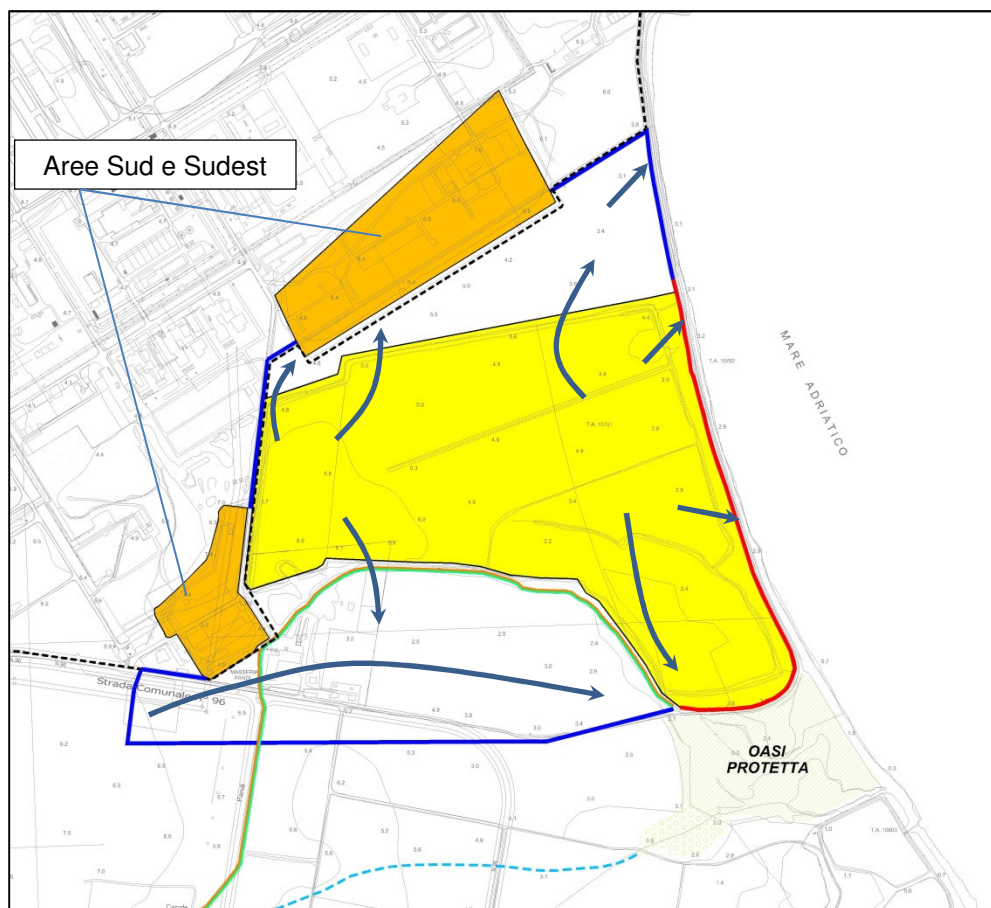
- diaframma fisico lato mare;
- riprofilatura del corpo rifiuti;
- copertura impermeabile del corpo rifiuti (capping);
- sistema di drenaggio delle acque superficiali del capping;
- sistema di regimazione delle acque di falda interne a Micorosa;
- impianto TAF per il trattamento delle acque emunte.

L'esigenza di prevedere, anche da parte di Syndial, interventi coordinati di contenimento (fisici od idraulici) a protezione dei recettori sensibili e rappresentati specificatamente dal mare a Est e dall'Oasi Protetta a Sud, ha portato alla valutazione di scenari di possibile intervento per le *Aree Syndial*, complementari e coordinati con gli interventi progettati da SOGESID sopra esposti, di seguito elencati:

1. Barriera idraulica complementare;
2. Barriera reattiva complementare;
3. Diaframma fisico complementare.

Nei paragrafi seguenti verranno descritte le principali caratteristiche degli scenari di intervento ipotizzati ed i relativi vantaggi e svantaggi.

Si ricorda che al confine di stabilimento, area Sud e Sud/Est, sono presenti due ex-discardie di residui derivanti dal ciclo di lavorazione di idrocarburi, cinturate tramite diaframmatura (in arancione in Figura 7.1.1), come previsto dal Progetto di Bonifica, approvato dal Comune di Brindisi nel 1999 (Deliberazione di Giunta n. 1840 del 29.12.99).



**Figura 7.1.1 – Planimetria con la delimitazione degli interventi del Comune di Brindisi (in giallo e in rosso) e delimitazione delle Aree Syndial (in azzurro), linee di flusso della falda (in blu) – Le linee di flusso riportano la situazione attuale.**



Il progetto prevedeva:

- confinamento fisico tramite diaframma plastico e telo in HDPE (profondo 25÷30 m da p.c. e intestato per almeno 1,5 m nelle argille grigio-azzurre) con capping di superficie;
- sistema di emungimento delle acque interne (da attivare in caso di innalzamenti della falda all'interno del diaframma);
- sistema di piezometri di controllo perimetrali, finalizzati ad accertare il mantenimento dei livelli all'interno del diaframma.

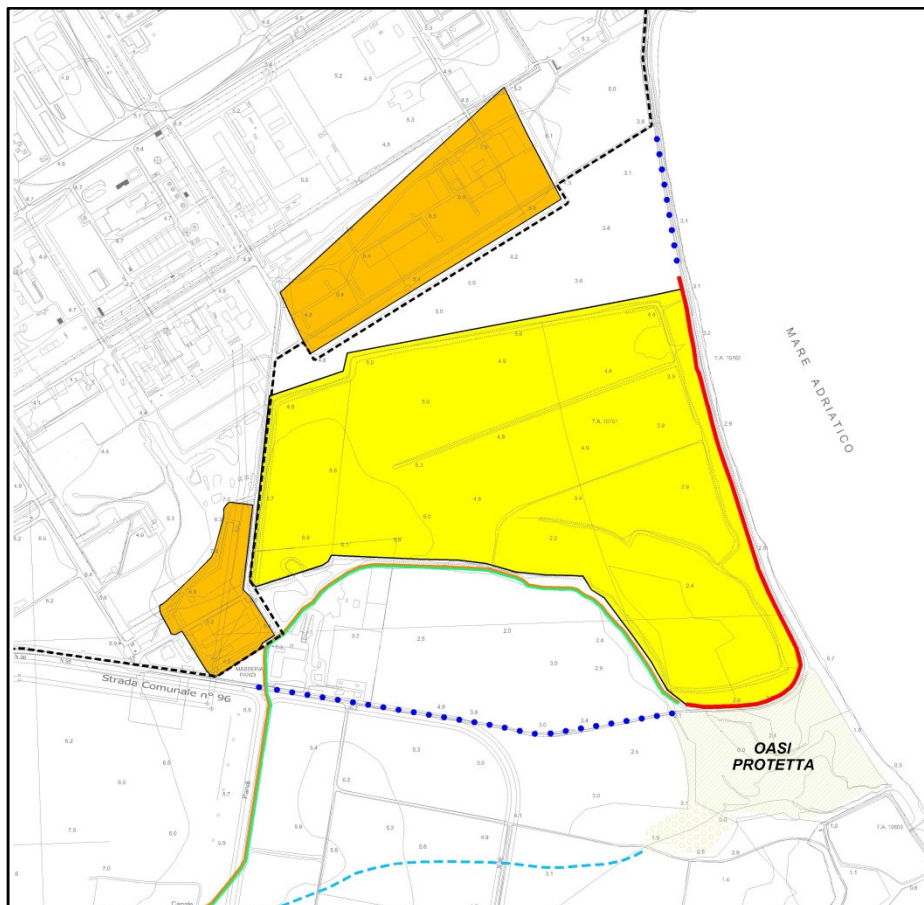
#### 7.1.1. BARRIERA IDRAULICA COMPLEMENTARE

Lo scenario prevede, ad integrazione degli interventi progettati da SOGESID per il Comune di Brindisi, la realizzazione dei seguenti interventi a carico di Syndial:

- il barriera idraulico, costituito complessivamente da circa 38 pozzi, in parte ubicati a Nord di Micorosa sul fronte mare delle *Aree Syndial* (per una lunghezza di circa 300 metri), in parte a sud di Micorosa, in prossimità della strada che costeggia il canale Pandi (per una ulteriore lunghezza di circa 1000 metri) (Figura 7.1.2).
- il reinserimento ambientale del canale Pandi mediante la deviazione dello stesso, a sud delle *Aree Syndial* in oggetto.

Dal punto di vista idraulico ed idrogeologico, il sistema rimarrebbe di fatto aperto e, pertanto, il quantitativo di acqua da emungere per conto di Syndial rimarrebbe molto elevato. La realizzazione dell'opera da parte di SOGESID lascerebbe infatti pressoché invariata la portata d'acqua che arriva da monte all'interno del sistema; rimarrebbe solo un decremento delle portate legato alla minore infiltrazione nel sottosuolo dovuta alla copertura impermeabile dell'area Micorosa.

La stima, ancorché non modellata matematicamente, risulterebbe tuttavia piuttosto elevata: circa 40-50 mc/h, continuativi, per tempi molto elevati (almeno diversi decenni) in relazione al tipo di contaminazione ed al fatto che la sorgente rimarrebbe presente in sito, alimentando la falda con le frazioni dissolte.



**Figura 7.1.2 – Ipotesi di barriera idraulica complementare (pozzi Aree Syndial in blu).**

Al fine di preservare la qualità dell'Oasi Protetta, in cui si riversano le acque del Canale Pandi e per evitare l'ingresso di acque all'interno del sistema idraulico si provvederà al reinserimento ambientale del Canale Pandi mediante la deviazione dello stesso, a sud delle Aree Syndial in oggetto (linea tratteggiata in azzurro in Figura 7.1.2).

PRO: azione relativamente rapida, costi di realizzazione della barriera accettabili, costo del TAF complementare a quello del Comune di Brindisi, azione diretta di controllo idraulico sui superamenti riscontrati.

CONTRO: la presenza di una sorgente così estesa come la discarica di Micorosa, appena a monte della barriera, rende questo tipo di contenimento sostanzialmente indefinito nei tempi, sicuramente molto lunghi e delicato dal punto di vista ambientale a causa dell'elevato rischio di ulteriore mobilitazione della contaminazione.

A fronte quindi di un costo di installazione sostanzialmente contenuto si avrebbero per contro oneri di gestione e manutenzione linearmente crescenti nel tempo, associati soprattutto all'elevata durata dell'intervento. Questo tipo d'intervento non presenta pertanto caratteristiche di sostenibilità.

L'emungimento sul fronte mare comporterebbe, inoltre, un richiamo del cuneo salino ed anche il conseguente peggioramento della qualità delle acque da trattare a causa dell'aumento dei cloruri.

#### 7.1.2. BARRIERA REATTIVA PERMEABILE COMPLEMENTARE

Lo scenario prevede, ad integrazione degli interventi progettati da SOGESID per il Comune di Brindisi, la realizzazione dei seguenti interventi a carico di Syndial:

- la realizzazione di una barriera reattiva permeabile (PRB) nelle *Aree Syndial*;
- il reinserimento ambientale del canale Pandi mediante la deviazione dello stesso, a sud delle *Aree Syndial* in oggetto.

Questo tipo di tecnologia prevede di abbattere la concentrazione dei contaminanti rilevati nelle acque di falda attraverso l'installazione di una barriera permeabile costituita da materiale reattivo opportunamente scelto, tipo il ferro zero valente, zeoliti, GAC etc.

Il flusso continuo delle acque di falda attraverso il mezzo reattivo, permette di trasformare i contaminanti in forme chimiche ambientalmente accettabili allo scopo di raggiungere valori di concentrazione adeguati agli obiettivi di bonifica, a valle della barriera stessa.

Spesso, a causa degli elevati costi dei reagenti, si preferisce installare un "funnel" classico associato ad un "gate" reattivo, ovvero un diaframma per parte dell'acquifero al fine di convogliare le acque da trattare verso il "gate" (cancello) ove avviene la reazione.

L'elemento di più difficile definizione è lo spessore della barriera reattiva, in quanto ad esso è associato il tempo reazione del contaminante, la durata nel tempo del materiale reattivo, l'efficacia stessa della tecnologia ed il costo.

Le barriere reattive sono pertanto sconsigliate in presenza di più tipi di contaminanti, di elevate concentrazioni di contaminanti, di situazioni idrogeologiche complesse. Le PBR vengono infatti implementate per l'interruzione e la bonifica di plume di contaminanti dissolti, laddove le concentrazioni siano però compatibili con la reattività della barriera stessa.

Proprio la durata nel tempo del sistema reagente pone quindi limiti all'implementazione di tali barriere a causa dell'elevato rischio di saturazione dello stesso e/o di clogging fisico e/o biologico delle porzioni permeabili.

Nel caso in esame, l'utilizzo di tale tecnologia risulta quindi di difficile applicazione a causa delle elevate concentrazioni di composti da trattare e della loro varietà, poco compatibili con le capacità prestazionali di degradazione dei contaminanti tipiche per tali barriere.

Anche le profondità di installazione, 25-30 m da piano campagna, rende tale tecnologia poco proponibile.

PRO: isolamento permanente delle aree contaminate in oggetto, potenzialmente bassi oneri di gestione nel tempo.

CONTRO: mancanza di garanzie nel medio/lungo termine a causa del fatto che la sorgente di contaminazione rimarrebbe attiva, in quanto non è previsto nessun intervento di isolamento o bonifica della stessa, e delle elevata concentrazione e della varietà di contaminanti presenti.

### 7.1.3. DIAFRAMMA FISICO COMPLEMENTARE

Lo scenario prevede, ad integrazione degli interventi progettati da SOGESID per il Comune di Brindisi, la realizzazione dei seguenti interventi a carico di Syndial:

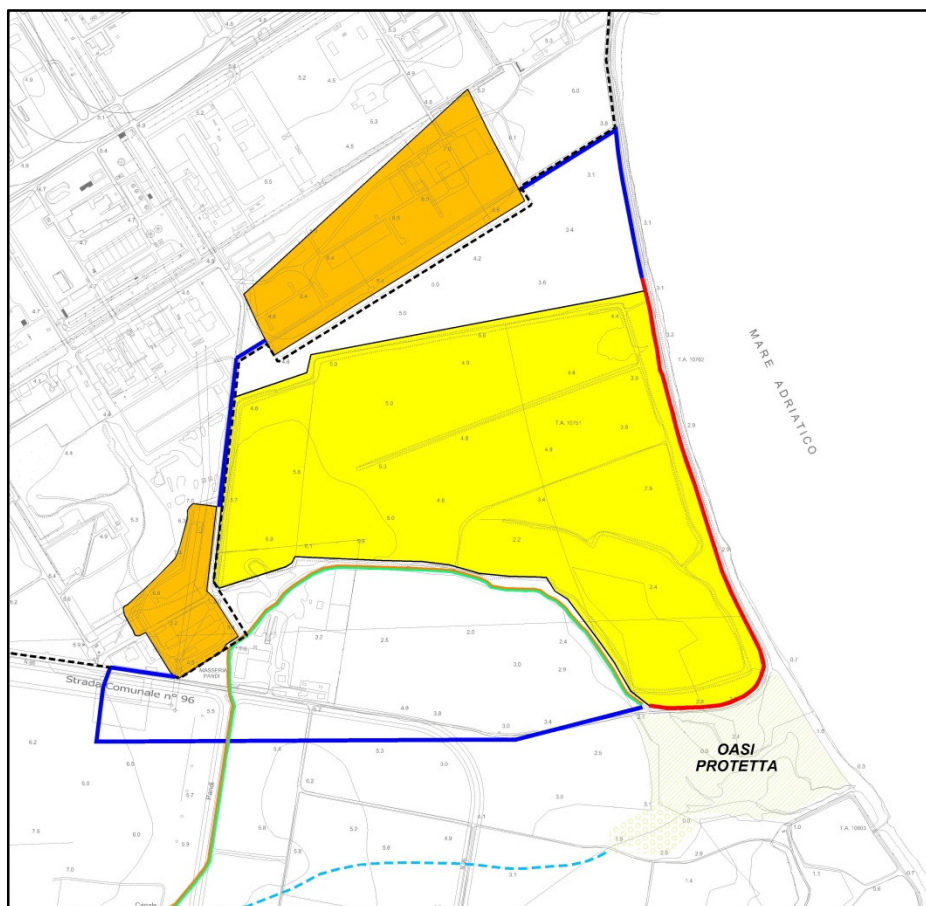
- cinturazione fisica delle *Aree Syndial*, integrata con quella prevista dal Comune di Brindisi (Figura 7.1.3);
- reinserimento ambientale del canale Pandi mediante la deviazione dello stesso, a sud delle *Aree Syndial* in oggetto;
- opere d'ingegneria idraulica e forestale per minimizzare l'infiltrazione delle acque di pioggia all'interno delle *Aree Syndial*.

In questa ipotesi, si considera un intervento di cinturazione fisica delle *Aree Syndial*, integrato agli interventi previsti dal Comune di Brindisi.

L'ipotesi di cinturazione prevede la completa integrazione tra il diaframma plastico composito previsto del Comune di Brindisi, e le aree di Syndial già diaframmate, denominate aree Sud e Sud-Est.

Si ottiene, in questo modo, una completa cinturazione di tutte le aree nelle quali è presente un significativo deterioramento dello stato qualitativo delle acque; tale cinturazione sarebbe

realizzata attraverso la messa in opera di un diaframma plastico immorsato nel substrato argilloso a circa 27 m di profondità.



**Figura 7.1.3 – Ipotesi di diaframma fisico complementare (in blu).**

Le aree interne al diaframma, non coperte da capping e costituite da terreni puliti (circa 30 ha), verranno piantumate con vegetazione arbustiva ed alberi ad alto fusto in grado di minimizzare l'infiltrazione delle acque di pioggia all'interno dell'area, tramite i processi evapotraspirativi naturali della vegetazione.

L'evapotraspirazione avrà progressivamente una funzione di supporto all'azione di emungimento delle acque di falda effettuata da pozzi adibiti allo scopo.

Anche in questa ipotesi, al fine di preservare la qualità dell'Oasi Protetta in cui si riversano le acque del Canale Pandi e per evitare l'ingresso di acque all'interno di un sistema idraulico idrogeologicamente chiuso, si provvederà al reinserimento ambientale del canale Pandi

mediante la deviazione dello stesso, a sud delle *Aree Syndial* in oggetto (tratteggio azzurro in Figura 7.1.3).

PRO: isolamento totale e permanente delle *Aree Syndial* contaminate, isolamento totale della discarica di Micorosa rispetto all'esterno, riduzione progressiva delle portate da emungere grazie all'azione di "phytoextraction" associata alla piantumazione dei circa 30 ha delle *Aree Syndial*.

CONTRO: costi elevati di realizzazione; presenza permanente dell'opera sul territorio.

## 7.2. COMPARAZIONE E VALUTAZIONE DELLE IPOTESI

Sulla base degli elementi descritti nei paragrafi precedenti, si è stilata una matrice comparativa dei diversi scenari proposti per consentire un confronto immediato ed una valutazione della tecnologia più idonea al raggiungimento degli obiettivi.

Tecnica	Applicabilità (motivazione principale)	Obiettivo (matrice)	Vantaggi / Svantaggi
1.Barriera idraulica integrativa	Poco Appropriata Rischio di mobilitazione della contaminazione da Micorosa verso le aree esterne	Acque di falda	Svantaggioso Durata molto elevata, a causa del permanere della sorgente di contaminazione e costo elevato di gestione negli anni
2.Barriera permeabile reattiva integrativa	Non Appropriata Elevate profondità ed Elevate concentrazioni di contaminanti eterogenei	Acque di falda	Svantaggioso Durata molto elevata a causa del permanere della sorgente di contaminazione e costi molto elevati
3.Diaframma fisico integrativo	<u>Appropriata</u> Isolamento totale delle aree contaminate	Acque di falda e suoli	<u>Vantaggioso.</u> Intervento definitivo e permanente per le acque di falda contaminate, progressiva riduzione della portata emunta nel tempo

## 7.3. STRATEGIA DI INTERVENTO

La strategia di intervento definita è focalizzata alla soluzione, permanente nel tempo, delle problematiche ambientali associate alla presenza delle matrici ambientali impattate, terreni ed

acque di falda, delle *Aree Syndial* e terreni, rifiuti ed acque di falda dell'area a discarica di Micorosa.

La soluzione Syndial individuata è la numero 3.

Si riporta di seguito un elenco degli interventi che complessivamente (quelli del Comune di Brindisi e quelli di Syndial) verranno realizzati nelle aree, in modo da fornire un quadro chiaro della soluzione complessiva, riportata in forma grafica in Tavola 04.

Nel Capitolo 8 e in Allegato 3, Allegato 4 e Allegato 5 verranno poi dettagliati gli interventi a carico di Syndial.

Ad opera del Comune di Brindisi:

- diaframma fisico lato mare per un totale di 1.065 m;
- riprofilatura del corpo rifiuti e copertura impermeabile (capping);
- sistema di regimazione delle acque di falda;
- impianto TAF per il trattamento delle acque emunte.

Ad opera di Syndial:

- diaframma nelle *Aree Syndial*, a completamento di quello previsto da SOGESID per un totale di circa 1.836 m;
- sistema di regimazione delle acque di falda interne;
- riqualificazione ambientale del Canale Pandi;
- piantumazione di circa 30 ha delle *Aree Syndial*.

Per il restante tratto di diaframma del lato Sud (ca. 400 m, in linea rossa tratteggiata nella Tavola 04) rimane da definire la spettanza degli oneri per la realizzazione, tra Syndial e le Autorità Locali.

Si precisa che Syndial e SOGESID hanno svolto la progettazione in maniera coordinata, svolgendo incontri tecnici e scambiandosi le relative informazioni progettuali.

Gli interventi sopra sintetizzati sono dunque focalizzati congiuntamente ad una soluzione, permanente nel tempo, delle problematiche ambientali dell'area in oggetto.

L'interruzione dei percorsi di migrazione in falda viene infatti attuata mediante la realizzazione del diaframma plastico composito che presenta uno sviluppo complessivo lineare di circa 3,3 km. Questo viene immerso nel substrato argilloso, a circa 27 metri di profondità ed ancorato perimetralmente alle aree di Messa In Sicurezza Permanente di Syndial già diaframmate, denominate aree Sud e Sud-Est.



Preliminarmente all'intervento di cinturazione complessiva, si procederà al reinserimento ambientale del canale Pandi attraverso la sua deviazione idraulica, a sud delle aree in oggetto. Tale deviazione permetterà di evitare l'introduzione di acque nel "sistema chiuso" cinturato e di esportare contaminazione verso l'Oasi Protetta.

Si precisa altresì che l'attuale percorso del canale Pandi nelle proprietà Syndial non è più comunque quello originario ma è stato progressivamente traslato verso sud, proprio dalle passate attività di abbancamento dei rifiuti sull'area Micorosa.

Tale reinserimento ambientale, oltre ad eliminare la possibilità di migrazione dei contaminanti provenienti da Micorosa, permette inoltre anche di meglio realizzare le opere stesse di cinturazione che verrebbero ad intercettare, in due punti, l'attuale percorso del Canale Pandi.

Dopo un'adeguata riprofilatura, il capping dell'area Micorosa, ad opera del Comune di Brindisi, permetterà di impedire la dispersione superficiale dei materiali abbancati nonché l'infiltrazione delle acque superficiali e la conseguente lisciviazione dei composti impattanti verso la falda. Le piume di contaminanti, al di sotto di Micorosa, vengono in questo modo stabilizzate nel tempo.

Le acque di pioggia e di ruscellamento sulla superficie del capping saranno invece convogliate in un sistema di canalette perimetrali e scaricate quindi direttamente a mare.

Le acque di falda e le acque piovane di infiltrazione sulle *Aree Syndial* prive di capping (terreni puliti), saranno invece controllate idraulicamente attraverso l'installazione di opportuni sistemi di drenaggio (pozzi) per permettere il mantenimento della quota di falda, all'interno dell'area diaframmata, ad un livello comunque inferiore rispetto alla quota di falda, presente all'esterno della diaframmatura.

Le acque emunte all'interno dell'area diaframmata saranno opportunamente trattate da idoneo TAF, autorizzato per lo scopo, prima del loro recapito finale a mare.

Ad integrazione dei sistemi di controllo idraulico classici (pump&treat) operati sia dai sistemi previsti dal Comune di Brindisi che da Syndial, il rimboschimento delle *Aree Syndial* permetterà la progressiva riduzione della ricarica della falda da parte delle acque piovane, attraverso i processi di evapotraspirazione naturale indotta dalla vegetazione, ovvero l'azione di *phytoextraction*. Tale riduzione si integrerà progressivamente, nell'arco di qualche anno, al contenimento del livello idraulico operato dai pozzi di richiamo sopradescritti. Il sistema di emungimento elettromeccanico sarà comunque mantenuto in efficienza, almeno per i primi anni di crescita, fino alla stabilizzazione dell'assetto vegetativo dell'area.

#### 7.4. AUTORIZZAZIONI AMBIENTALI

Ai sensi dell'art. 20 del D.Lgs. 152/06, il progetto è da sottoporsi all'istanza di verifica di assoggettabilità alla procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA), ricadendo nell'elenco dei progetti sottoposti a verifica di assoggettabilità di competenza delle regioni inclusi nell'Allegato IV del medesimo decreto, di cui al punto 7 lettera o) *“opere di regolazione del corso dei fiumi e dei torrenti, canalizzazione e interventi di bonifica ed altri simili destinati ad incidere sul regime delle acque, compresi quelli di estrazione di materiali litoidi dal demanio fluviale e lacuale”*.

Tuttavia, ai sensi dell'art. 4 comma 3 della LR Puglia n. 11 del 12/04/01 "Norme sulla valutazione dell'impatto ambientale", così come modificata dalla LR Puglia n. 17 del 14/06/07 "Disposizioni in campo ambientale, anche in relazione al decentramento delle funzioni amministrative in materia ambientale", il progetto è da assoggettarsi alla procedura di VIA in quanto gli interventi ricadono *“anche parzialmente all'interno di aree naturali protette o di siti della rete Natura 2000 di cui alle dir. 79/409/CEE e 92/43/CEE”* (SIC/ZPS IT9140003 “Stagni e Saline di Punta della Contessa”).

Inoltre, in ottemperanza a quanto previsto dall'art. 6 comma 2 della LR n.11 del 12/04/01, così come modificata dalla LR n. 17 del 14/06/07, la VIA del progetto proposto è di competenza della Provincia.

La struttura dello Studio di Impatto Ambientale segue l'impostazione indicata dalle linee guida contenute nel DPCM del 27/12/88, i criteri indicati dal D.Lgs. 152/06 e dalle norme UNI 10742 e UNI 10745 (Impatto Ambientale: finalità e requisiti di uno studio di impatto ambientale e Studi di Impatto Ambientale: terminologia). Il SIA riporta i contenuti di cui all'Allegato VII alla Parte II del sopracitato D.Lgs. 152/06.

Lo Studio di Impatto Ambientale comprende:

- *Quadro di Riferimento Programmatico*, dove sono analizzati i rapporti tra gli interventi di progetto con i piani e gli strumenti di pianificazione e programmazione vigenti;
- *Quadro di Riferimento Progettuale*, che riporta le informazioni relative allo stato attuale e al progetto con particolare riferimento alle interferenze con l'ambiente ed all'individuazione delle potenziali interferenze ambientali del progetto su cui avviare lo studio delle componenti e la stima degli impatti;
- *Quadro di Riferimento Ambientale*, articolato in tre parti:
  - descrizione dello stato attuale delle componenti ambientali interessate dalla realizzazione del progetto;
  - analisi degli impatti sulle componenti ambientali considerate per effetto delle azioni di progetto, utilizzando metodologie quali-quantitative. Quando

necessario, sono descritte le metodologie di indagine e di valutazione degli impatti sulle componenti ambientali;

- descrizione delle iniziative che il Proponente intende realizzare per la mitigazione e compensazione degli impatti prodotti dalle modifiche progettuali e i sistemi di monitoraggio adottati per tenere sotto controllo gli impianti e i loro effetti sull'ambiente.

Inoltre, poiché il progetto proposto ricade in un Sito Natura 2000 (SIC/ZPS IT9140003 "Stagni e Saline di Punta della Contessa") e pertanto può *"avere incidenze significative sul sito stesso"*, ai sensi dell'art. 4 comma 4 della LR n.11 del 12/04/01, così come modificata dalla LR n. 17 del 14/06/07, è soggetto a Valutazione di Incidenza.

In ottemperanza a quanto previsto dall'art. 6 commi 2 e 4 della LR n.11 del 12/04/01, così come modificata dalla LR n. 17 del 14/06/07, la procedura di Valutazione di Incidenza per il progetto proposto è espletata dalla Provincia, sentito il parere dell'Ente Parco competente.

La struttura della Valutazione di Incidenza segue l'impostazione indicata dalle linee guida contenute nel DPR del 357/1997, così come integrato e modificato dal DPR 120/2003.

Nell'ambito del procedimento in essere saranno inoltre valutati gli ulteriori procedimenti autorizzativi che saranno necessari all'attuazione del progetto.

## **8. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI**

Sulla base del modello concettuale sviluppato al Capitolo 5 e della strategia di intervento esposta al Capitolo 7, di seguito si illustrano gli interventi di Messa In Sicurezza Permanente previsti per le *Aree Syndial*, in particolare:

- la riqualificazione ambientale del canale Pandi;
- le opere di regimazione della falda acquifera;
- le opere di ingegneria forestale;
- le opere di confinamento fisico.

### **8.1. RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE DEL CANALE PANDI**

Al fine di preservare l'integrità ambientale dell'Oasi Protetta e di poter procedere al recupero ambientale del tratto di canale artificiale del Pandi, è previsto il reinserimento ambientale di questo corso d'acqua tramite un'azione di isolamento e tombatura della porzione di canale che giunge a lambire l'argine meridionale dell'area Micorosa ed il ricollegamento diretto tra la porzione a monte dell'area Micorosa e quella di valle, attraverso la deviazione del canale a Sud dell'area Micorosa.

In breve, la deviazione del canale è stata prevista al fine di:

- evitare che le acque di ruscellamento della discarica Micorosa vengano ancora a contatto con il canale Pandi;
- permettere alle acque superficiali pulite provenienti dalla pianura retrostante le proprietà Syndial di alimentare naturalmente l'Oasi protetta.

Nel presente paragrafo sono illustrati i punti salienti della progettazione della deviazione del Canale Pandi e delle opere connesse. Per la descrizione di dettaglio dell'intervento si veda l'Allegato 3 alla presente relazione.

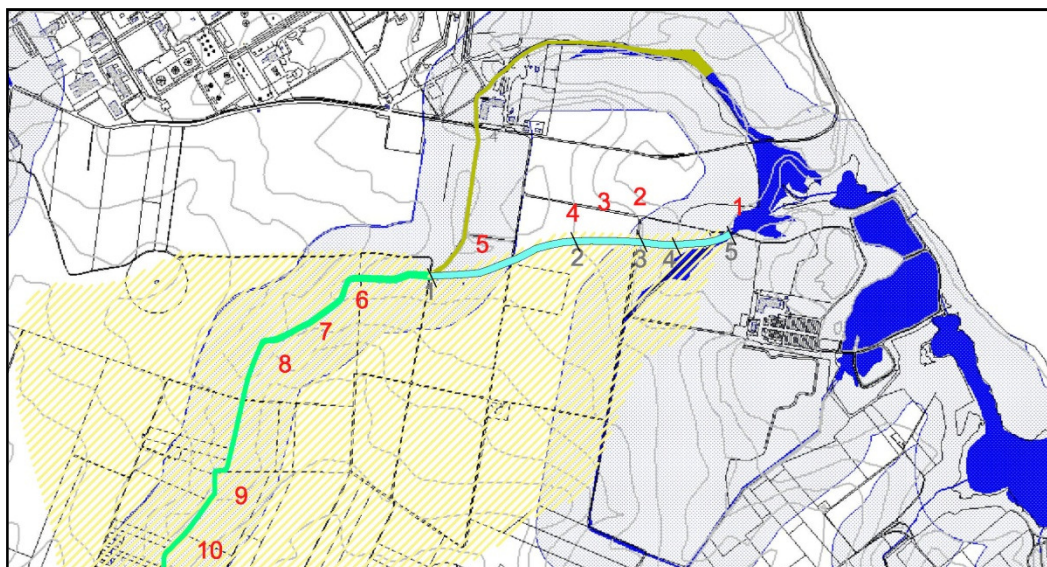
Gli interventi previsti nell'ambito della riqualificazione del Canale Pandi sono i seguenti:

1. realizzazione del nuovo alveo del Canale Pandi, ovvero:
  - a. scavo del canale in terra;
  - b. posa in opera di un telo impermeabile bentonitico;

- c. posa in opera di una geogriglia antierosiva;
  - d. formazione degli argini in terra lungo entrambe le sponde per garantire il franco idraulico di 1 metro rispetto al livello della piena con tempo di ritorno 100 anni. Gli argini saranno formati utilizzando il materiale di scavo del canale, previa verifica della qualità ambientale dello stesso;
  - e. realizzazione di due manufatti di attraversamento delle strade esistenti: i ponti potranno essere realizzati mediante la posa in opera di strutture scatolari prefabbricate in c.a. oppure in lamiera zincata tipo "finsider".
2. chiusura del tratto di valle del Canale Pandi. Tale chiusura potrà essere effettuata mediante il tombamento con materiale terroso.

#### 8.1.1. IPOTESI DI TRACCIATO DELLA DEVIAZIONE

In Figura 8.1.1 è riportato un estratto della tavola di progetto (Tavola 01 – Allegato 3) con l'identificazione dell'ipotesi di percorso del tratto del canale Pandi. In rosso sono rappresentate le quote assolute sul livello del mare mentre in neretto sono rappresentati i punti di riferimento per il profilo.

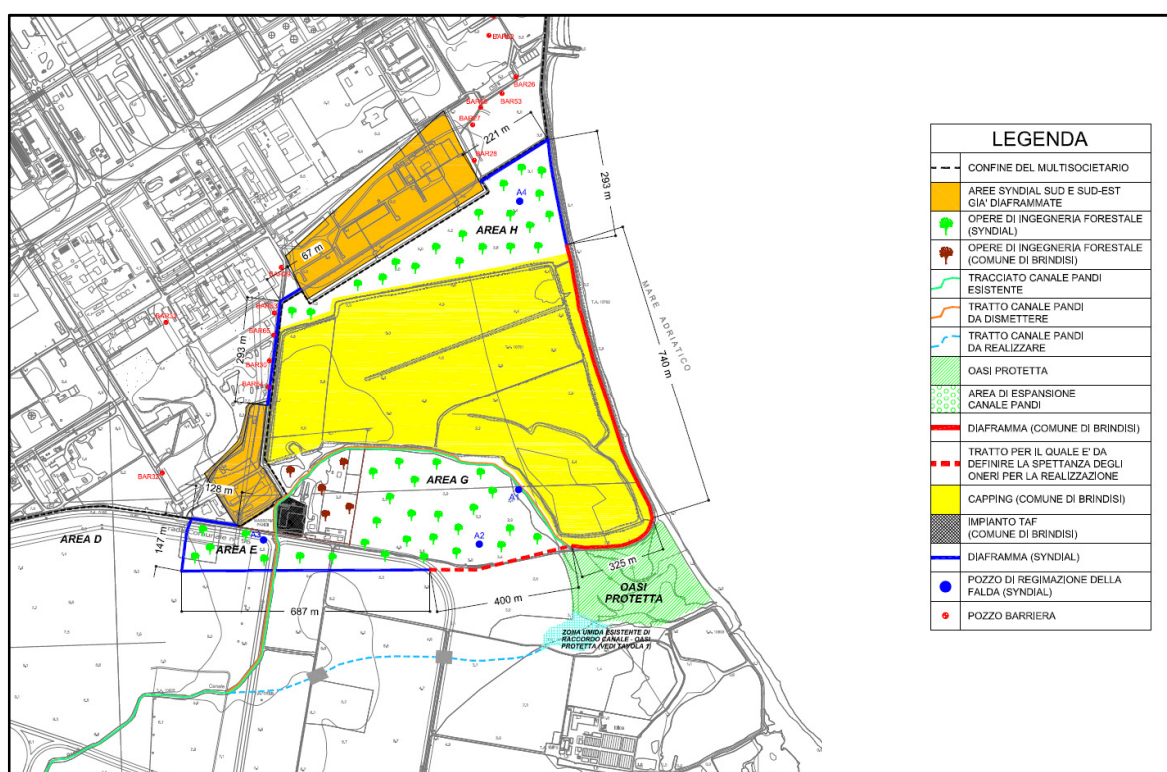


**Figura 8.1.1 - Tracciato del canale in progetto (azzurro).**



La deviazione del canale ha origine in corrispondenza della sezione (identificata con il numero 1) in cui l'attuale Pandi effettua una curva a circa 90° passando da una direzione ovest-est a una direzione sud-nord. Il nuovo alveo del canale avrà inizio immediatamente a valle dell'attuale attraversamento della strada esistente e sfocerà nella zona umida esistente (indicata in blu in Figura 8.1.1) dopo circa 900 metri.

Il tracciato previsto non interferisce con le opere progettate, come si vede in Figura 8.1.2 (tratta da Tavola 02 – Allegato 3).



**Figura 8.1.2 - Percorso del canale in progetto (in colore azzurro) inserito nell'ambito della progettazione degli interventi di messa in sicurezza permanente delle aree esterne.**

Il nuovo canale in progetto attraversa nel suo percorso unicamente i terreni di proprietà Syndial escludendo quindi la necessità di un'eventuale acquisizione di nuove aree.

Il canale attraversa due volte una strada denominata "Strada per Pandi" della larghezza compresa tra 4 e 5 m. Si prevede, quindi, la posa in opera di due manufatti scatolari in c.a. prefabbricati e il ripristino successivo della sede stradale.

### 8.1.2. DIMENSIONI DEL CANALE

La sezione del canale è stata progettata per consentire il deflusso della portata di progetto con un franco idraulico di almeno 1 metro. La portata di dimensionamento del nuovo canale è stata calcolata attraverso una specifica analisi idrologica. Le portate calcolate sono riportate nella Tabella 8.1.1 seguente:

<i>T</i> (anni)	5	10	20	50	100	500
<i>Q</i> (m <sup>3</sup> /s)	1.56	2.39	3.38	4.93	6.29	10.22

**Tabella 8.1.1 – Portate di piena per i diversi tempi di ritorno.**

In Tabella 8.1.2 sono indicati le dimensioni del canale:

<i>Q</i> (m <sup>3</sup> /s)	6,41	portata
<i>b</i> (m)	3,00	larghezza base minore
<i>L</i> (m)	885	lunghezza del canale
<i>i</i> (m/m)	0,0045	pendenza del fondo
<i>p</i> (m/m)	1,00	scarpa sponde H/V

**Tabella 8.1.2 – Dati di progetto del canale.**

La scelta della larghezza di base dipende sia dalla minore altezza d'acqua connessa con la portata centennale, sia dalla necessità di assicurare una sufficiente sezione bagnata in grado di garantire un naturale deflusso della portata di progetto anche nel caso di crescita della vegetazione in alveo. Questa ipotesi è estremamente cautelativa dal momento che dovrà essere prevista una regolare manutenzione dell'alveo del canale.

La profondità del canale è funzione della pendenza longitudinale (assunta pari alla pendenza media del terreno lungo il percorso stabilito) e dell'altimetria del terreno nel quale è prevista la sua realizzazione.

Nella soluzione scelta di pendenza uniforme (0,0045 m/m), si determina una profondità massima di scavo di circa 1,6 m (nella sezione individuata con il numero 2); nel punto di sbocco nella zona umida (indicato con il numero 5) la profondità del canale è circa 0,70 metri. Le quote del fondo scavo sono compatibili con la quota della superficie della falda che nella zona è risultata piuttosto superficiale; tuttavia si ritiene comunque necessario prevedere la realizzazione dello scavo durante la stagione asciutta per evitare la presenza di acqua durante le lavorazioni e la posa di un telo impermeabile sul fondo e sulle sponde per evitare, in fase di esercizio il potenziale drenaggio delle acque di falda da parte dell'alveo del canale.



Il profilo longitudinale del canale in progetto è rappresentato in dettaglio nella Tavola 03 dell'Allegato 3.

Il volume di scavo del canale è stato stimato pari a circa 3.970 m<sup>3</sup>.

Per garantire un franco idraulico non inferiore a 1 m, si prevede inoltre di realizzare un'arginatura in terra lungo entrambe le sponde del canale; l'altezza massima del rilevato arginale è uguale a circa di 1,3 m al di sopra del piano campagna.

I nuovi argini saranno realizzati con il materiale derivante dallo scavo del canale stesso, previa caratterizzazione ambientale dei materiali escavati. La caratterizzazione dei terreni escavati sarà effettuata applicando il protocollo analitico approvato in sede di Conferenza dei Servizi decisoria del 13/3/2006 e del 19/10/2006 per la caratterizzazione delle aree esterne al sito multisocietario di Brindisi.

#### 8.1.3. IMPERMEABILIZZAZIONE E STABILIZZAZIONE

La falda si trova a poca profondità dal fondo del canale e, in determinate circostanze quali un periodo di maggiore piovosità, si potrebbe verificare l'innalzamento del suo livello freatico. Per evitare che ci possa essere un contatto temporaneo con le acque di falda e si possa verificare il drenaggio delle stesse, si ritiene necessario impermeabilizzare il fondo e le sponde del canale mediante la posa in opera di un telo impermeabile bentonitico. Le caratteristiche del telo bentonitico saranno le seguenti:

- GCL a base di bentonite sodica costituito da un sandwich di geotessili nontessuti in polipropilene; la bentonite contenuta nel geocomposito avrà un contenuto di umidità non superiore al 12% ed avrà le seguenti caratteristiche minime:
  - contenuto in montmorillonite non inferiore al 70%;
  - assorbimento d' acqua secondo ASTM E946 non inferiore al 700%;
  - rigonfiamento libero secondo ASTM D5890 non inferiore a 24 ml/2 gr;
  - perdita di fluido secondo ASTM D5891 non superiore a 18 ml.

I singoli strati del geocomposito saranno assemblati mediante un sistema continuo di agugliatura meccanica tale da garantire una resistenza allo spellamento (peeling) secondo ASTM D6496 non inferiore a 65 N ed il geocomposito, prodotto in qualità secondo le norme ISO 9001:2000, dovrà garantire le seguenti caratteristiche:

- Permeabilità secondo ASTM D5804 non superiore a  $5 \times 10^{-11}$  m/sec cui corrisponderà una perdita massima di fluido non superiore a  $1 \times 10^{-8}$  mc/mq\*s calcolata secondo le norme ASTM D5887

La superficie complessiva del GCL è di circa 8200 m<sup>2</sup> (circa 9 m<sup>2</sup>/m di lunghezza del canale).

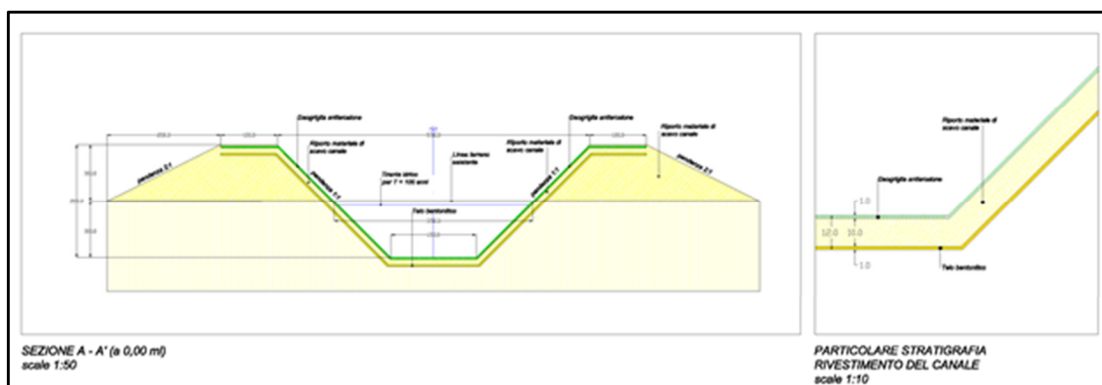
La pendenza delle sponde della sezione in terra risulta superiore a quella che è normalmente stabile per canali scavati in materiali di caratteristiche analoghe. Ne deriva la necessità di utilizzare cautelativamente un sistema di stabilizzazione antierosiva delle sponde; si prevede, pertanto, la messa in opera di una geogriglia.

La rete sarà realizzata da un geocomposito adeguatamente fissato composto da una rete metallica a doppia torsione a maglia esagonale e da una geostuoia tridimensionale polimerica compenetrata e rese solidali durante il processo di produzione. La geostuoia potrà avere massa areica minima di 750 g/mq e costituita da due strutture, realizzate in filamenti di polipropilene termosaldati tra loro nei punti di contatto e stabilizzati per resistere ai raggi UV, anch'esse termosaldate nei punti di contatto: quella superiore a maglia tridimensionale con un indice alveolare > 90%, quella inferiore a maglia piatta. La rete metallica a doppia torsione avrà una maglia esagonale tessuta con trafilato di ferro, conforme a quanto previsto dalle "Linee Guida" emesse dalla Presidenza del Consiglio Superiore LL.PP. il 12/05/06. Oltre a tale trattamento il filo sarà ricoperto da un rivestimento di materiale plastico di colore grigio che dovrà avere uno spessore nominale non inferiore a 0,5 mm. Lo spessore del geocomposito è di 10 ÷ 12 mm.

La superficie della geogriglia è di circa 8.200 m<sup>2</sup> (circa 9 m<sup>2</sup>/m di lunghezza del canale).

Tra il telo bentonitico e la geogriglia sarà riportato uno strato di terra dello spessore minimo di 10 cm.

Nella figura seguente (Figura 8.1.3) è riportata una sezione tipo ed un dettaglio del pacchetto di rivestimento della sponda. Per il dettaglio si veda la Tavola 04 del progetto allegato (Allegato 3).



**Figura 8.1.3 – Sezione tipo e particolare del pacchetto di rivestimento delle sponde del canale.**

## 8.1.4. REALIZZAZIONE DEGLI ARGINI

A lato del canale è prevista la formazione di argini in terra che garantiscano il franco idraulico rispetto al livello della piena di progetto con 100 anni di tempo di ritorno.

Gli argini saranno realizzati utilizzando il materiale di scavo del canale che risulta avere caratteristiche limoso-sabbiose, quindi idoneo alla realizzazione di rilevati arginali in terra.

L'argine avrà un'altezza massima di circa 1,30 m, in corrispondenza dello sbocco (in questa zona il canale diventa più superficiale) e un'altezza minima di circa 0,40 m (in corrispondenza del punto individuato con il numero 2 nella planimetria e nel profilo longitudinale).

La sommità arginale ha una larghezza di 1,0 m e le sponde hanno pendenza di 2:1 lato campagna e 1:1 lato canale.

Il volume complessivo di materiale per la formazione degli argini è stato stimato pari a circa 3150 m<sup>3</sup>.

Nella tabella seguente vengono riassunti i dati di progetto degli argini:

**Tabella 8.1.3 – Dati di progetto degli argini.**

<b>b</b>	(m)	1,00	larghezza minima in sommità
<b>H</b>	(m)	Variabile max 1,32 m; min 0,37 m	altezza arginale
<b>p<sub>LA</sub></b>	(m/m)	1:1	pendenza paramento lato canale (H:V)
<b>p<sub>LC</sub></b>	(m/m)	2:1	pendenza paramento lato campagna (H:V)

## 8.1.5. ATTRAVERSAMENTI STRADALI

Il tracciato del nuovo canale attraversa in due punti una strada esistente denominata "Strada per Pandi". Ne risulta la necessità di realizzare due manufatti di attraversamento.

La strada ha una larghezza variabile compresa tra 4 e 5 metri.

Il progetto prevede quindi la posa in opera di strutture prefabbricate in c.a. per carichi stradali di prima categoria. Si dovrà nella fase successiva della progettazione predisporre la verifica statica ai sensi delle normative vigenti dei manufatti disponibili in commercio, comprendente la caratterizzazione geotecnica dei terreni per il calcolo delle fondazioni e la verifica statica dei manufatti nelle condizioni di posa e di carico previste.

Le dimensioni minime dell'attraversamento sono:

- LARGHEZZA INTERNA = 3 m: corrispondente alla larghezza alla base del canale in terra;
- ALTEZZA INTERNA = 2 m: corrispondente all'altezza complessiva del canale misurata dal fondo alla sommità arginale.

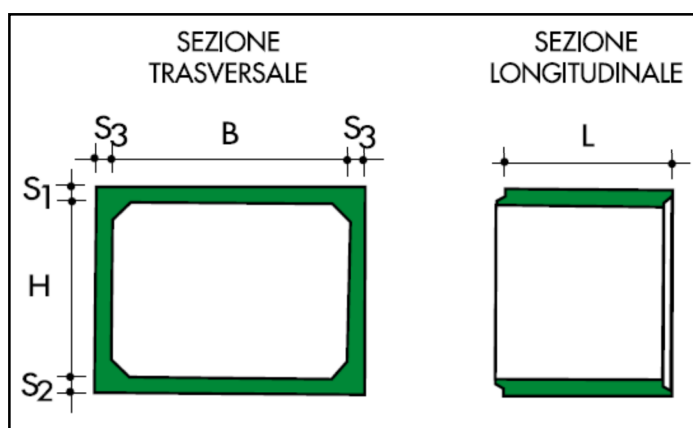


Figura 8.1.4 – Sezione tipo dello scatolare in c.a.






TIPO DI SCATOLARE	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE SEZIONE CHIUSA						PESO ELEMENTO kg
	B cm	H cm	S1 cm	S2 cm	S3 cm	L cm	
120x100 	120	100	13	13	13	200	3500
160x100 	160	100	14	14	14	200	4000
200x150 	200	150	18	14	14	200	5700
220x170 	220	170	14	14	14	150	4200
300x200 	300	200	20	18	18	150	7200

Figura 8.1.5 – Dimensioni tipo dello scatolare in c.a.

Gli scatolari in c.a. delle dimensioni necessarie sono solitamente di lunghezza non superiore a 2 metri. Pertanto occorre affiancare più manufatti per raggiungere la lunghezza pari alla dimensione della strada (due manufatti per la strada stimata 4 metri di larghezza e tre manufatti per la strada stimata 6 metri di larghezza). Le strutture prefabbricate sono realizzate in modo tale che possono essere giuntati e garantire le resistenze necessarie. In Figura 8.1.4 si riporta un esempio di scatolare in c.a.. Nella figura seguente (Figura 8.1.6) è riportato un esempio di ricostruzione di un ponte con scatolari prefabbricati.



**Figura 8.1.6 – Esempio di realizzazione di un attraversamento stradale con scatolari in c.a.**

All'imbocco e allo sbocco di ciascun manufatto di attraversamento saranno realizzati due muri d'ala di raccordo tra il canale in terra di forma trapezia e lo scatolare in c.a. (di forma rettangolare); i muri d'ala saranno realizzati in c.a. in opera.

Al termine delle lavorazioni si dovrà ripristinare la sede stradale con la formazione del pacchetto che in linea di massima potrà essere costituito da:

1. uno strato di bitumatura di ancoraggio;
2. uno strato base costituito da una miscela di pietrisco e bitume;

3. uno strato di collegamento (binder) costituito da miscela di pietrischetto, graniglia e sabbia;
4. un eventuale strato di usura (tappetino) ottenuto con pietrischetto e graniglie.

#### 8.1.6. DISMISSIONE TRATTO DI VALLE CANALE PANDI

Come scritto in premessa, il progetto prevede, oltre alla deviazione del canale Pandi, anche la tombatura della porzione di monte che lambisce l'area di Micorosa.

L'obiettivo può essere raggiunto mediante il riempimento dell'intero canale con materiale terroso in minima parte derivante dallo scavo del nuovo alveo del canale e per la maggior parte dovrà provenire da cave certificate.

Il volume stimato per il completo tombamento del canale è di circa 6200 m<sup>3</sup>.

#### 8.2. OPERE DI REGIMAZIONE DELLA FALDA ACQUIFERA

La progettazione della parte idraulica della MISP è stata realizzata con il supporto di simulazioni matematiche del flusso idrico sotterraneo condotte dal gruppo di lavoro del prof. Vincenzo Francani (Politecnico di Milano) e da Tethys S.r.l., utilizzando il codice di calcolo FEFLOW. Gli scenari di seguito descritti sono stati impostati a partire dal modello di flusso V.1-12 già realizzato dal Politecnico di Milano. Le modalità di implementazione e calibrazione di tale modello vengono dettagliatamente riportate in apposito documento realizzato dal Politecnico di Milano ed allegato al presente progetto (Allegato 2).

In accordo con la strategia d'intervento (Capitolo 7), gli scenari hanno previsto la cinturazione completa dell'area contaminata, simulata nel modello mediante un setto impermeabile con coefficiente di permeabilità pari a  $K = 1 \cdot 10^{-9}$  m/s, esteso in profondità sino alla base del modello, che corrisponde alla base impermeabile del primo acquifero.

Di seguito si illustrano:

- le simulazioni modellistiche eseguite a supporto della progettazione delle opere di regimazione delle acque sotterranee all'interno del diaframma;
- le specifiche tecniche di realizzazione dei pozzi di regimazione previsti.

Come si vedrà le opere consistono in 4 pozzi di regimazione.

Nello specifico, i pozzi A1, A2 e A3 saranno realizzati nei settori E e G mentre il pozzo A4 nel settore H (Tavola 04).

#### 8.2.1. MODELLISTICA IDROGEOLOGICA

Gli scenari modellizzati hanno tutti previsto la cinturazione completa dell'area in esame mediante un setto impermeabile dotato di  $K = 1 \cdot 10^{-9}$  m/s che si estende in profondità sino alla base del modello (slice 6) corrispondente alla base impermeabile del primo acquifero.

Gli scenari adottano un valore di ricarica calcolato dai dati di pioggia media degli ultimi 80 anni (1931-2011) e una piezometria iniziale corrispondente al Luglio 2011, già calibrata nel modello del Politecnico di Milano al quale si rimanda anche per i dettagli costruttivi del modello stesso e delle scelte operate per la sua calibrazione (Allegato 2).

Ai fini progettuali sono stati predisposti tre scenari di simulazione con due diversi valori di ricarica e attingimento dall'acquifero:

1. Scenario 1 – ricarica basata sulle piogge medie cumulate;
2. Scenario 2 – ricarica basata sulle piogge medie cumulate ma decurtate dell'aliquota utilizzata dalle piante;

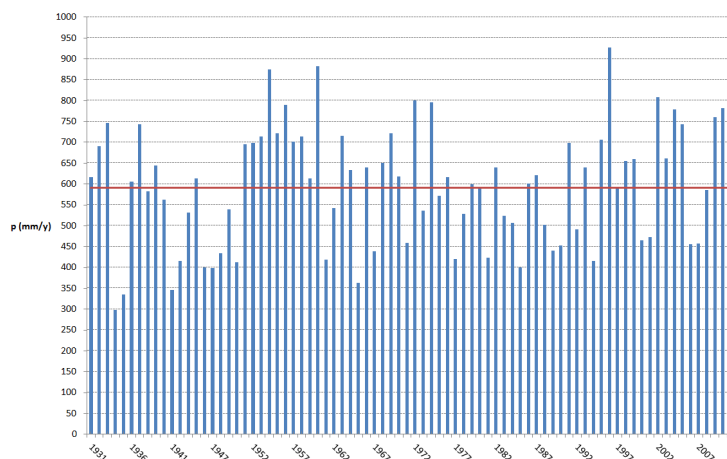
Inoltre, a soli fini gestionali a lungo termine, è stato predisposto un terzo scenario (Scenario 3) che simula l'assenza di emungimenti da parte della barriera idraulica di stabilimento.

Per i dettagli costruttivi del modello si rimanda all'Allegato 2 del presente progetto.

##### *8.2.1.1. Valutazione della ricarica*

I dati termo pluviometrici mensili utilizzati per l'identificazione del termine di ricarica sono stati reperiti presso registri ARPA Puglia e si riferiscono al periodo 1931-2011 (Figura 8.2.1). I dati di temperatura del periodo 1921-1931, non essendo disponibili, non sono stati utilizzati.





**Figura 8.2.1 - Valori delle piogge cumulate annuali per il periodo 1931-2011 ed indicazione della media pari a 590,5 mm/y (linea rossa).**

Al fine della costruzione degli scenari è stato ricercato il valore medio delle piogge cumulate annuali. Tale valore è pari 590,5 mm/y e risulta essere prossimo a quello registrato nel 1997 (594 mm/y) che può essere pertanto considerato l'anno medio.

Utilizzando quindi i dati termo pluviometrici mensili del 1997, è stata calcolata, mediante il metodo di Thornthwaite, l'entità dell'evapotraspirazione reale. In particolare, si è ottenuto un valore di surplus idrico pari a 142 mm/y; tale valore rappresenta la lama d'acqua disponibile per ruscellamento superficiale ed infiltrazione.

Adottando un coefficiente d'infiltrazione piuttosto cautelativo e pari al 50% si ottiene un valore di ricarica medio pari a 71 mm/y (Tabella 8.2.1). Tale valore è stato utilizzato nella simulazione dello Scenario 1 a ricarica costante durante l'anno, indipendentemente dalle variazioni stagionali.

**Tabella 8.2.1 - Calcolo dell'evapotraspirazione reale e del termine di ricarica per i dati mensili del 1997 applicando il metodo di Thornthwaite e un coefficiente di infiltrazione del 50%.**

Mese	T [°C]	P [mm]	ETP [mm]	Ricarica [mm]
Gennaio	9,8	100,0	21,0	0,0
Febbraio	9,6	18,2	20,0	0,0
Marzo	11,3	18,0	32,8	0,0
Aprile	10,8	41,0	33,0	0,0
Maggio	18,3	3,6	90,4	0,0
Giugno	23,4	7,6	137,9	0,0
Luglio	24,4	3,2	151,0	0,0
Agosto	23,6	78,6	132,1	0,0
Settembre	21,7	32,4	100,9	0,0

Mese	T [°C]	P [mm]	ETP [mm]	Ricarica [mm]
Ottobre	16,9	158,6	60,8	17,7
Novembre	14,9	80,0	42,4	13,8
Dicembre	11,1	52,8	25,2	39,5
<b>Totale anno 1997</b>	-	<b>594,0</b>	<b>847,7</b>	<b>70,9</b>

Nella simulazione dello Scenario 2, i valori di suzione mensili per ettaro, attesi dalle piante arboree previste nelle opere di ingegneria forestale (Tabella 8.2.2), sono stati direttamente sottratti al dato di pioggia cumulata mensile.

Inoltre, al fine di realizzare uno scenario maggiormente cautelativo, in questa simulazione si è scelto di non considerare il ruscellamento superficiale; è stato quindi ipotizzato che tutta l'acqua non soggetta ad evapotraspirazione, s'infiltrasse.

L'anno è stato suddiviso in 4 Stress Periods corrispondenti a 4 periodi stagionali omogenei (Tabella 8.2.2).

**Tabella 8.2.2 - Calcolo dei valori di ricarica mensili in base ai valori di suzione mensili delle piante e piogge cumulate mensili riferite all'anno 1997.**

	Mese	# giorni	mm di suzione	mm piovuti nel 1997	mm infiltrati
SP1	Dicembre	31	1,9	52,8	50,9
	Gennaio	31	4,5	100	95,5
	Febbraio	28	7,2	18,2	11,0
	Marzo	31	17,7	18	0,3
SP2	Aprile	30	34,8	41	6,3
	Maggio	31	65,5	3,6	-61,9
SP3	Giugno	30	100,7	7,6	-93,1
	Luglio	31	135,0	3,2	-131,8
	Agosto	31	132,2	78,6	-53,6
	Settembre	30	77,8	32,4	-45,4
SP4	Ottobre	31	36,3	158,6	122,3
	Novembre	30	10,5	80	69,5
<b>TOTALE</b>			<b>623,98</b>	<b>594,00</b>	<b>-29,98</b>

#### 8.2.1.2. SCENARIO 1

In questo scenario si simula un sistema di regimazione delle acque sotterranee, interne alla MISP, mediante l'azione combinata di 4 pozzi di estrazione, installati nelle aree E, G ed H, e di

una linea di pozzi posta in Area Micorosa, a tergo del diaframma plastico, nel tratto lungo la costa di pertinenza del Comune di Brindisi (di lunghezza pari a 770 m).

Nella simulazione, questi ultimi pozzi hanno una profondità media di -3 m s.l.m. e si è ipotizzata un'estrazione dalla falda in modo continuativo di 10 m<sup>3</sup>/h.

I 4 pozzi disposti nelle restanti aree della MISP di proprietà Syndial, sono profondi 20m ed hanno le seguenti portate unitarie: Q W1 1,2 m<sup>3</sup>/h, QW2 1,2 m<sup>3</sup>/h, Q W3 0,85 m<sup>3</sup>/h, Q W4 1,75 m<sup>3</sup>/h.

La simulazione è stata condotta in condizioni transitorie e la durata della stessa è di 3 anni. Il valore di ricarica utilizzato è pari a 71 mm/y.

Nel modello sono stati inseriti 6 punti di controllo fittizi per verificare puntualmente i risultati attesi.

Nella tabella sottostante si riportano in sintesi le condizioni simulate nello scenario 1.

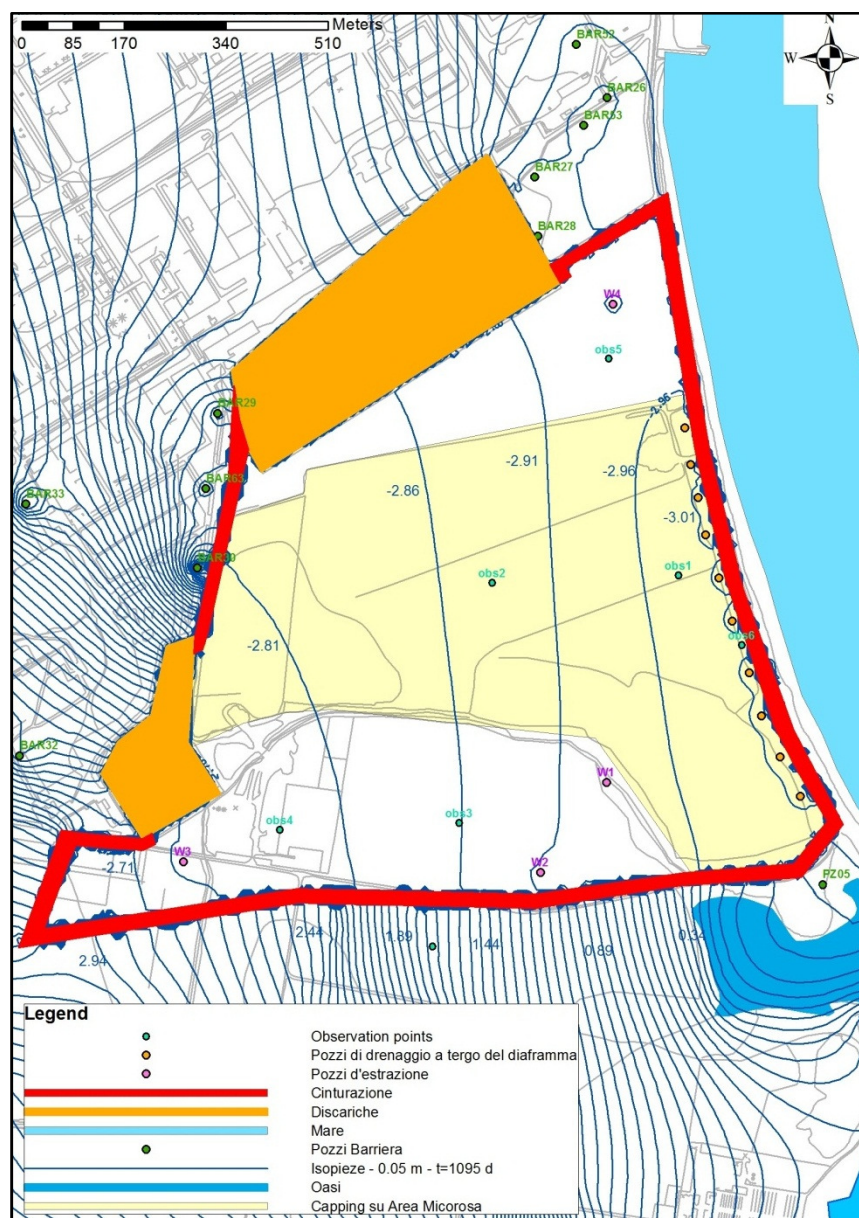
Tipo di simulazione	Transitorio	Durata 3 anni in 12 stress period
Ricarica su area Micorosa	NO	0
Piogge su aree non dotate di capping interne a MISP	SI	594 mm/y costante
Piogge su aree esterne a MISP	SI	594 mm/y costante
Opere di ingegneria forestale	assenti	
Pozzi a tergo del muro lungo costa	10	Q <sub>TOT</sub> =10 m <sup>3</sup> /h
Pozzi di emungimento interni a MISP	4	Q <sub>TOT</sub> =5 m <sup>3</sup> /h
Livello piezometrico interno a MISP		H=-0,5 in 1 anno

### Risultati

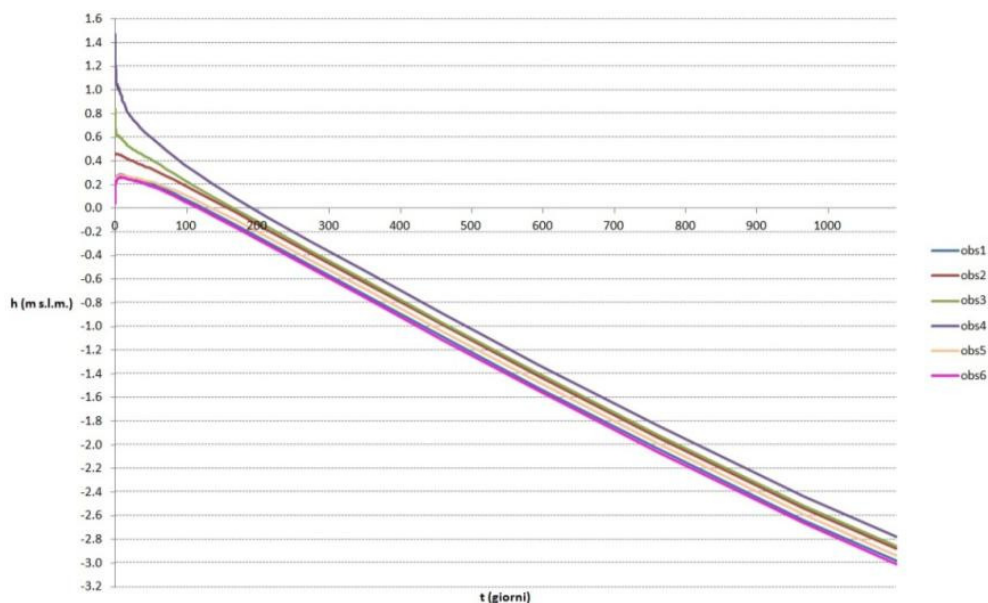
Dopo 1 anno di funzionamento dei pozzi, all'interno della MISP si raggiungano livelli piezometrici compresi tra -0,75 e -0,40 m s.l.m. (Figura 8.2.2) con significativi dislivelli rispetto alla falda esterna al diaframma.

Mantenendo invariata portata complessiva, negli anni successivi i livelli piezometrici continuano ad abbassarsi in modo lineare sino a raggiungere valori di intorno a -3 m s.l.m. (Figura 8.2.3). Tale risultato corrisponde al comportamento atteso per un sistema chiuso quale quello progettato, in relazione al fatto che i prelievi sono nettamente superiori alle entrate.

La Figura 8.2.2 mostra anche una leggera concavità a partire dal secondo anno di emungimento, in relazione al fatto che gli abbassamenti progressivi della falda coinvolgono man mano gli strati del modello più profondi e con caratteristiche idrauliche diverse da quelli superficiali.



**Figura 8.2.2 - Distribuzione dei carichi idraulici simulato nello scenario A1 a 3 anni dall'inizio dell'azione di regimazione della falda.**



**Figura 8.2.3 - Variazioni dei carichi idraulici simulato nello scenario 1 nei 6 punti di controllo del modello.**

### 8.2.1.3. SCENARIO 2

In questo scenario, adottando valori di suzione previsti a 6 mesi dalla piantumazione delle opere di ingegneria forestale, è stato simulato un sistema di drenaggio delle acque sotterranee interne alla MISP irrobustito dalla azione di *phytoextraction* condotta da idonee piante ad alto fusto.

Come nello Scenario 1, i pozzi di regimazione della falda estraggono inizialmente 15 m<sup>3</sup>/h ma, dopo 547 giorni (circa un anno e mezzo), vengono spenti, lasciando proseguire l'azione di drenaggio alle sole piante.

Tipo di simulazione	TRANSITORIO	Durata 45 y in 20 Stress Period
Ricarica su area Micorosa	NO	0
Piogge su aree MISP senza capping	SI	594 mm/y con variazioni quadrimestrali
Piogge su aree esterne a MISP	SI	594 mm/y con variazioni quadrimestrali
Piantumazione	SI (<6 mesi)	suzione variabile quadrimestralmente
Pozzi a tergo del muro lungo costa	10	variabile $Q_{DRN}=10\div0$ m <sup>3</sup> /h
Pozzi di emungimento interni a MISP	4	$Q_{TOT}=5\div0$ m <sup>3</sup> /h m <sup>3</sup> /h
Livello piezometrico interno a MISP		H=-0,5 in meno di 1 anno

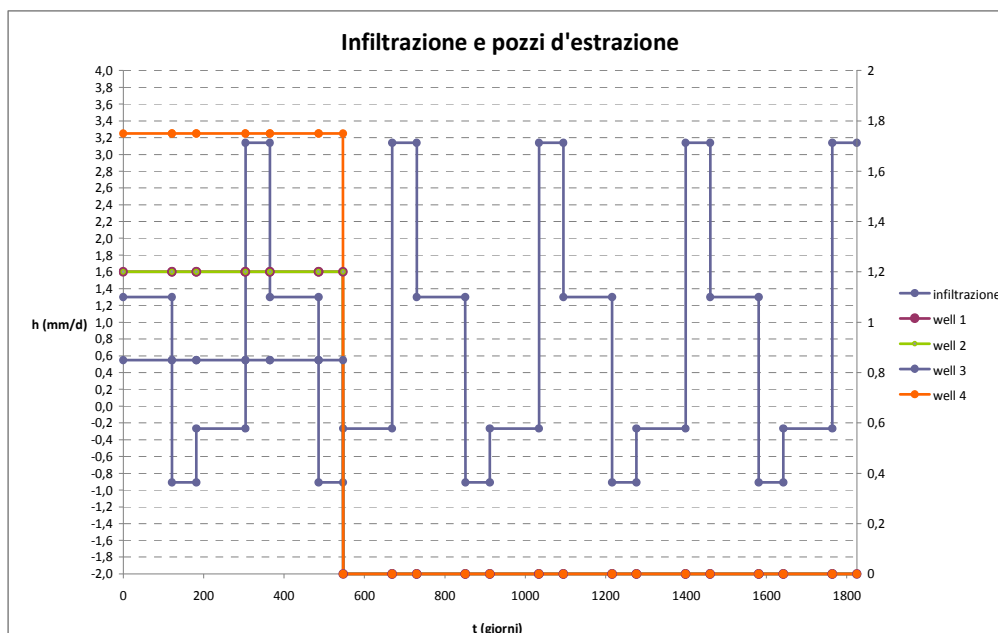
Ogni anno di simulazione è stato suddiviso in 4 Stress Periods (SP) per ognuno dei quali, partendo dai valori mensili indicati in tabella, è stato calcolato il valore di suzione medio per pianta (Tabella 8.2.3); in tal modo è stato possibile simulare la combinazione della variabilità stagionale delle piogge con la capacità di estrazione delle piante dalle acque di falda. In tal modo si tenuto in opportuna considerazione il periodo invernale che risulta maggiormente gravoso sulla falda conterminata data la maggiore piovosità, le basse temperature e la minore attività vegetativa.

Come scelta in favore di sicurezza per tutti i 5 anni di simulazione sono stati adottati valori di suzione pari a quelli di una pianta non completamente adulta e senza considerare l'incremento annuale di fabbisogno idrico in relazione alla crescita della pianta, pertanto i 4 Stress Periods sono stati ripetuti con i medesimi valori per 5 anni consecutivi (Figura 8.2.4)

	mese	# giorni	mm di suzione medi stagionali	mm pioggia medi stagionali	mm medi infiltrati
SP1	Dicembre	31	7,8	47,3	39,4
	Gennaio	31	7,8	47,3	39,4
	Febbraio	28	7,8	47,3	39,4
	Marzo	31	7,8	47,3	39,4
SP2	Aprile	30	50,1	22,3	-27,8
	Maggio	31	50,1	22,3	-27,8
SP3	Giugno	30	111,4	30,5	-81,0
	Luglio	31	111,4	30,5	-81,0
	Agosto	31	111,4	30,5	-81,0
	Settembre	30	111,4	30,5	-81,0
SP4	Ottobre	31	23,4	119,3	95,9
	Novembre	30	23,4	119,3	95,9
<b>TOTALE</b>			<b>623,98</b>	<b>594,00</b>	<b>-29,98</b>

**Tabella 8.2.3 - Suddivisione in quadrimestri dei valori mensili di infiltrazione calcolati.**

La ricarica annuale adottata è sempre quella dell'anno medio (1997), quindi anche ai fini di distribuire le piogge nei 4 stress period, si è fatto riferimento ai suoi dati mensili.



**Figura 8.2.4 - Distribuzione del termine di ricarica e dei prelievi dei 4 pozzi durante i 5 anni di simulazione (i 10 pozzi a tergo diaframma lato mare del comune di Brindisi, non sono rappresentati per praticità di lettura del grafico).**

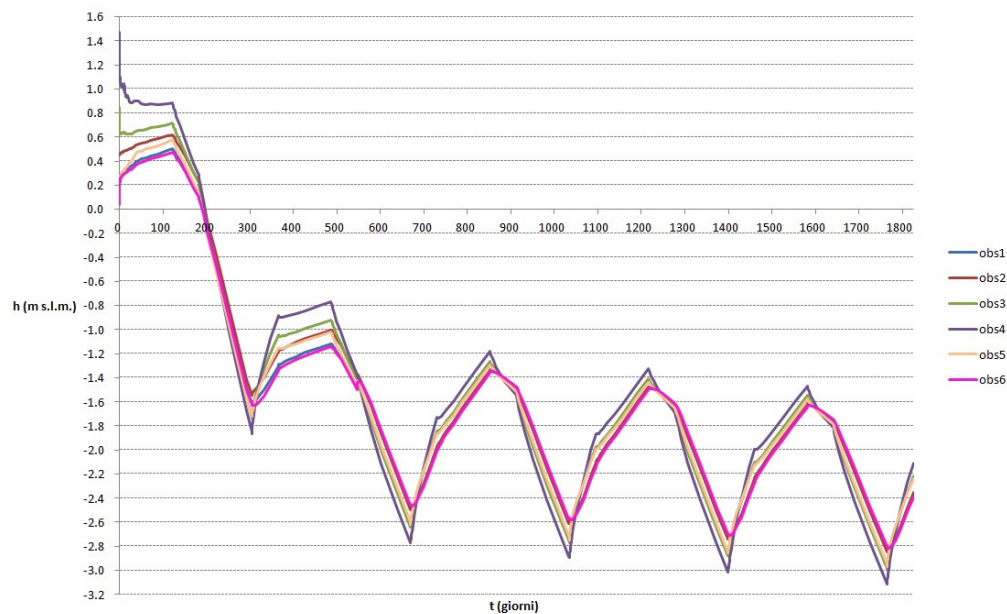
### Risultati

I risultati della simulazione confermano la validità dell'azione di phytopumping non solo nell'irrobustire l'azione di emungimento dalla falda ma anche nel mantenere in modo autonomo il livello piezometrico interno alla MISP inferiore rispetto a quello delle aree poste all'esterno del diaframma (Figura 8.2.5 e Figura 8.2.7).

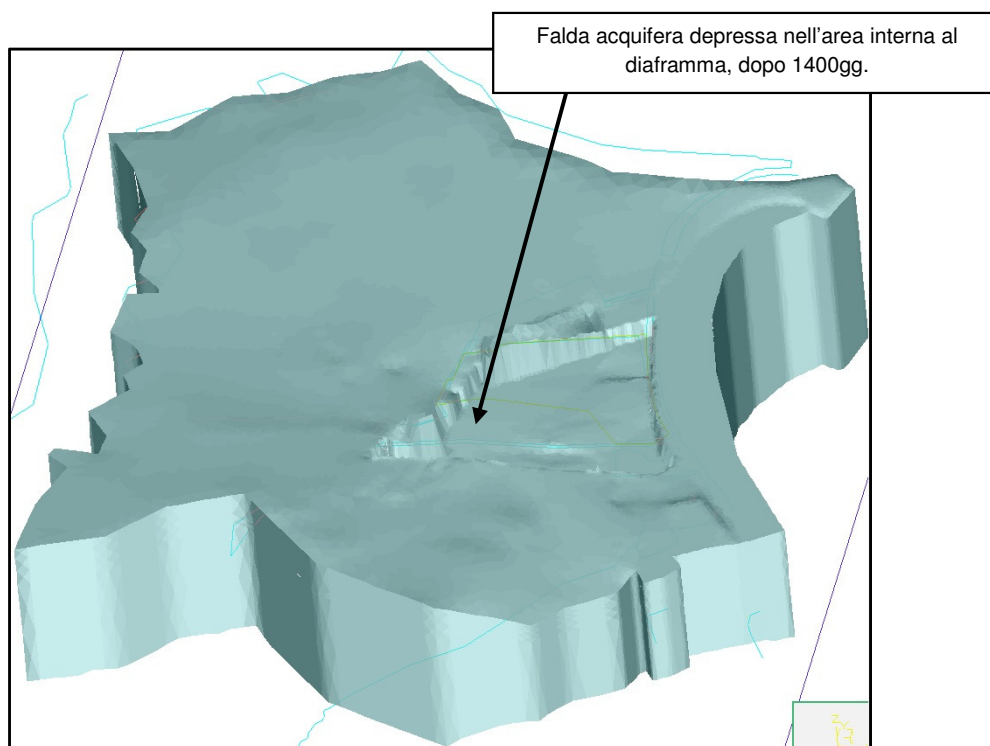
Tramite le simulazioni è possibile osservare che, una volta spenti i pozzi, i livelli piezometrici oscillano stagionalmente tra - 1 m s.l.m. e - 3 m s.l.m. e che si instaura un trend discendente di poco inferiore a 0,1 m annui (Figura 8.2.6) proprio in virtù di valori di suzione delle piante superiori a quelli di pioggia media.

L'attesa è che tale trend in discesa non prosegua indefinitamente, ma si arresti nel momento in cui l'apparato radicale e la quota della falda saranno tali da limitare la crescita delle piante stesse, instaurando così un equilibrio tra capacità di suzione e i livelli di falda.

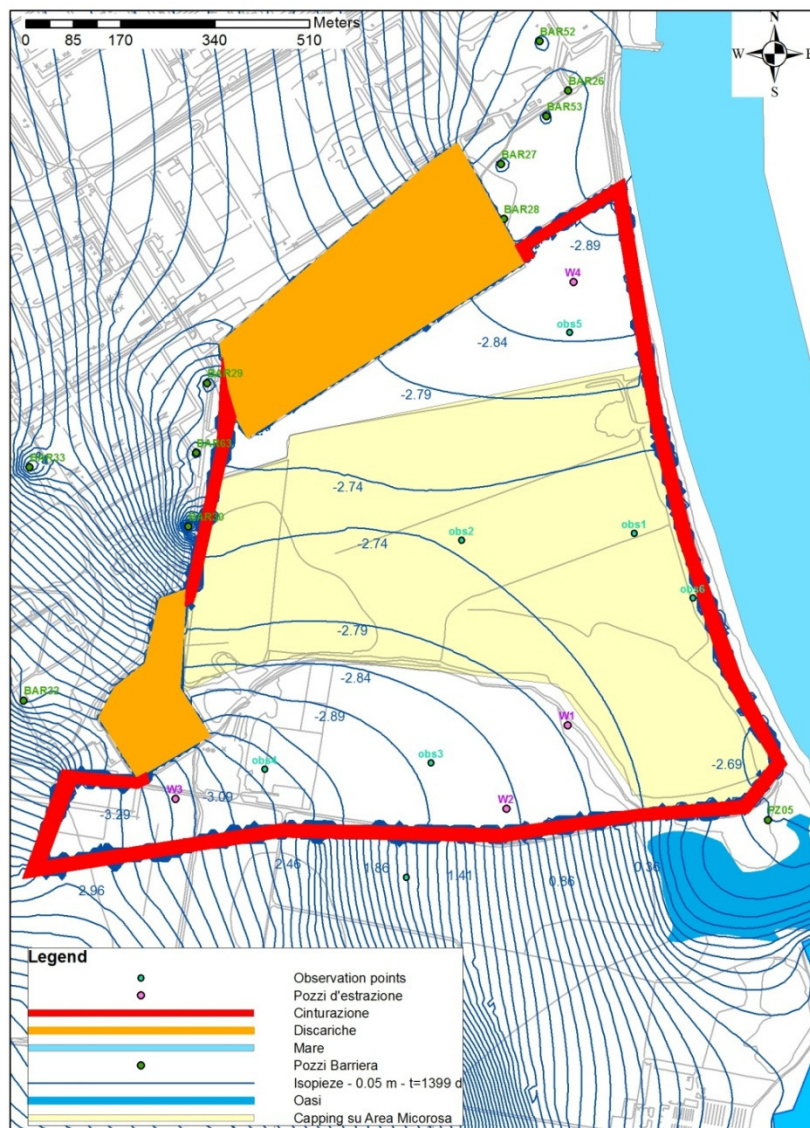




**Figura 8.2.5 - Variazioni dei carichi idraulici simulate nello scenario 2 con spegnimento dei pozzi di estrazione dopo 547 giorni.**



**Figura 8.2.6 - Visualizzazione 3D della superficie piezometrica nello scenario 2 dopo 1400 giorni dall'inizio dell'azione di pompaggio integrata dalla phytoextraction.**



**Figura 8.2.7 - Distribuzione dei carichi idraulici simulato nello scenario A2 a 1400 giorni (settembre) dall'inizio dell'azione di drenaggio.**

#### 8.2.1.4. SCENARIO 3 - a lungo termine

Questa simulazione è stata condotta al solo fine di prevedere gli effetti indotti dalla presenza del diaframma in oggetto sul flusso idrico sotterraneo nelle aree esterne alla MISP e nelle aree interne allo stabilimento a ridosso dello stesso, nel caso di arresto dei sistemi di emungimento della falda a fine bonifica.

Per questa simulazione si è utilizzata la piezometria corrispondente al risultato della Scenario 1 dopo un anno dall'azionamento dei pozzi interni alla MISP, mantenendo le condizioni di ricarica immutate nel tempo.

Quindi, nel modello sono stati spenti tutti i pozzi BAR della barriera idraulica ad oggi attiva nello Stabilimento e da quel momento si è mantenuto un regime stazionario.

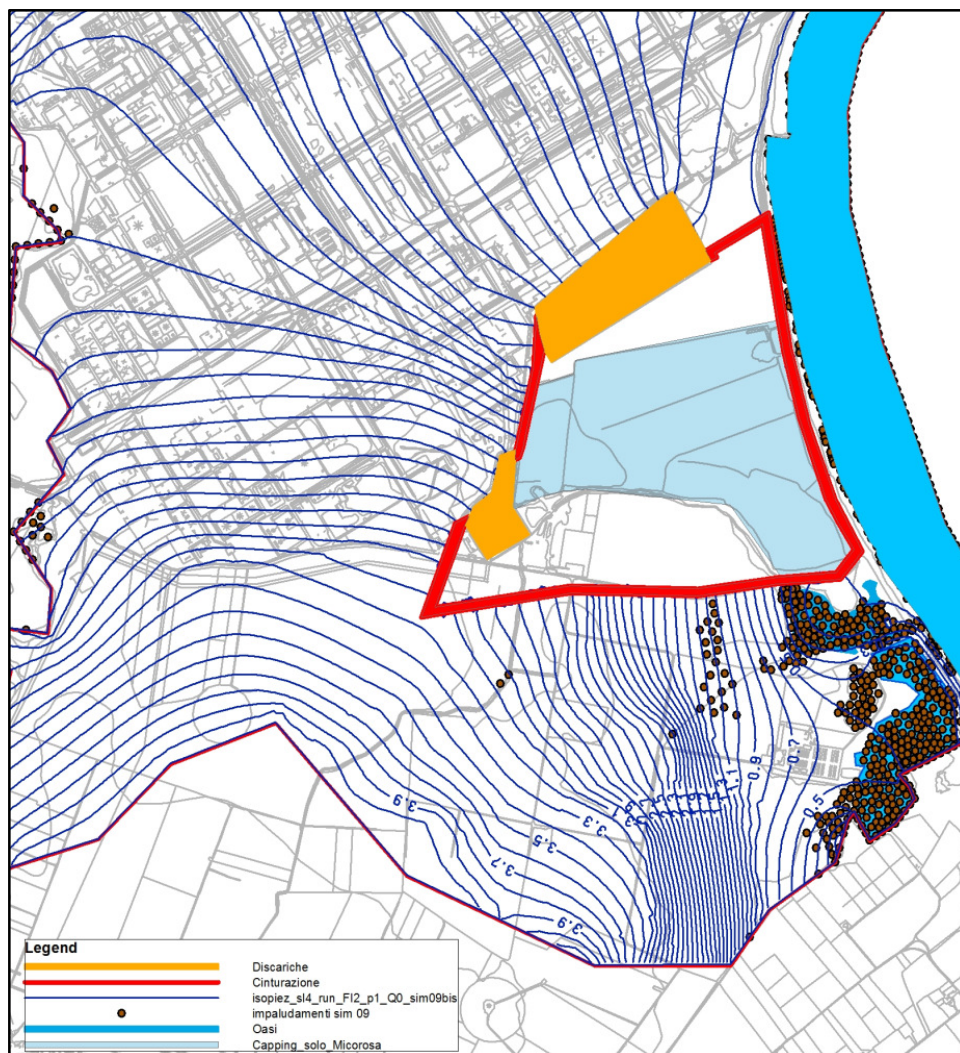
Le principali condizioni simulate sono riportate nella sottostante tabella.

Tipo di simulazione	STAZIONARIO	
Ricarica su area Micorosa	NO	0
Pioggie su aree MISP senza capping	NO	0
Pioggie su aree esterne a MISP	SI	594 mm/y costante
Piantumazione	NO	
Pozzi a tergo del muro lungo costa	SI	$Q_{TOT}=0 \text{ m}^3/\text{h}$
Pozzi di emungimento interni a MISP	SI	$Q_{TOT}=2,9 \text{ m}^3/\text{h}$
Livello piezometrico esterno a MISP		Confermate le condizioni rilevate in campo e preesistenti alla MISP

La piezometria simulata dal modello è stata quindi confrontata con i dati topografici di dettaglio del DTM (*Digital terrain model*) disponibile on-line nel sito della Regione Puglia.

#### Risultati

I risultati della simulazione mostrano (Figura 8.2.8) che le uniche zone che potrebbero subire allagamenti a causa dell'innalzamento della falda sopra il piano campagna sono ubicate a sud del diaframma e corrispondono alle lagune costiere e a zone limitrofe che già attualmente si presentano regolarmente o periodicamente allagate e che non dipendono dagli emungimenti, peraltro posti in aree molto distanti.



**Figura 8.2.8 - Distribuzione dei carichi idraulici simulato nello Scenario 3 dopo lo spegnimento dei pozzi BAR dello Stabilimento. I punti rossi indicano le zone in cui si attendono allagamenti.**

#### **8.2.1.5. Conclusioni della modellistica idrologica**

Le attività di modellistica condotte dal gruppo di lavoro del Professore V. Francani del Politecnico di Milano, hanno permesso di:

- progettare n. 4 pozzi idonei alla regimanzione delle acque di falda;
- definire le portate di esercizio (4mc/h);



- supportare la progettazione delle opere di ingegneria forestale;
- stimare l'intervallo temporale nel quale si dovrà emungere in attesa della messa a regime delle azioni di phytoextraction (2 anni circa);
- valutare l'assenza di allagamenti all'interno dello stabilimento a ridosso del diaframma in progetto in caso di fermo pozzi.

### 8.2.2. SONDAGGI GEOGNOSTICI

La presente sezione descrive le modalità realizzative di 4 sondaggi geognostici a rotazione e carotaggio continuo, che saranno successivamente attrezzati a pozzo.

#### *8.2.2.1. Esecuzione di prescavi*

In via preliminare, verrà eseguito un sopralluogo al seguito del quale verrà valutata la necessità di eseguire dei prescavi a mano.

In tale evenienza lo scavo a mano sarà a pianta rettangolare, con dimensioni minime in relazione alla corretta operatività del personale addetto (verosimilmente 1,5 x 0,6 m), ed avrà una profondità di 1,0 ÷ 1,5 m.

Successivamente si procederà al rinterro dello scavo, utilizzando materiale vergine di cava certificato, al fine di rendere accessibile la zona durante l'esecuzione del sondaggio.

Il terreno estratto dagli scavi verrà depositato temporaneamente a bordo scavo, sarà quindi movimentato tramite sacchi tipo "big bags", predisposti allo scopo e successivamente smaltito secondo i termini di legge.

#### *8.2.2.2. Perforazione dei sondaggi*

I sondaggi geognostici saranno eseguiti a carotaggio continuo, a rotazione e a secco, utilizzando carotiere con diametro Ø=101 mm e rivestimento provvisorio con diametro Ø= 152 mm.

I sondaggi a carotaggio continuo saranno spinti fino a circa 20 m da p.c., e saranno eseguiti senza l'ausilio di fluidi di perforazione, in modo da permettere la ricostruzione della stratigrafia locale.

Le modalità esecutive del sondaggio (velocità di rotazione e spinta) dovranno essere tali da rendere minimo il disturbo dei terreni attraversati, consentendo il prelievo continuo di materiale rappresentativo (carote): lo scopo principale è quello di minimizzare il surriscaldamento del materiale prelevato.

La tecnica di perforazione dovrà essere adattata alla tipologia e alla natura del terreno, mediante la scelta di apparecchiature (carotiere, corona, rivestimenti) e velocità di avanzamento appropriate.

L'estrazione delle carote dovrà avvenire senza l'utilizzo di fluidi, utilizzando un carotiere apribile longitudinalmente. La percentuale di recupero del materiale tramite l'avanzamento a carotaggio continuo non dovrà essere inferiore all'85%.

Anche l'avanzamento dei rivestimenti dovrà avvenire di norma senza l'ausilio di fluido di circolazione, per evitare il dilavamento dell'eventuale contaminazione. La necessità di utilizzo di acqua (esclusivamente potabile non additivata), dovrà essere provata e comunque tale utilizzo dovrà essere autorizzato dal Committente o dal responsabile delle indagini geognostiche incaricato.

Le carote estratte nel corso della perforazione verranno sistemate in apposite cassette catalogatrici (in legno o plastica), avendo cura di ordinare la corretta sequenza in relazione alla ricostruzione stratigrafica.

Sui bordi di ciascuna cassetta verranno riportate le profondità delle carote rispetto al p.c. e sui coperchi verranno riportati i seguenti dati:

- committente;
- luogo di lavoro;
- denominazione del sondaggio;
- numero della cassetta;
- profondità di prelievo rispetto al p.c.;
- data esecuzione.

Al completamento di ogni perforazione, tutti gli strumenti di perforazione verranno adeguatamente puliti con idropulitrice (elettrica con utilizzo di sola acqua potabile), per evitare eventuali fenomeni di cross contamination, con l'ausilio di una spazzola per rimuovere eventuali residui fangosi.

### 8.2.3. POZZI DI EMUNGIMENTO

I sondaggi sopra descritti saranno rialesati con diametro minimo finale del foro pari a 250 mm, ed attrezzati successivamente con tubazioni in acciaio inox fessurato e cieco (come definito più avanti) del diametro di 6". Il fondo della tubazione dovrà essere chiuso tramite un tappo a vite. I materiali di risulta di perforazione non dovranno essere in alcun modo utilizzati come materiale di riempimento dell'intercapedine tra foro e tubazione piezometrica. Essi andranno smaltiti a norma di legge al termine delle attività di perforazione.

La profondità prevista per i pozzi è pari a 20 m da p.c..

I tratti sia ciechi che fenestrati ed i tappi di chiusura al fondo dei pozzi dovranno essere puliti e decontaminati prima della realizzazione delle opere stesse. In area di cantiere, prima dell'allestimento del foro, i tratti di tubazione dovranno esser posizionati sopra teli di plastica al fine di evitare la potenziale contaminazione con sostanze presenti nel suolo.

#### Completamento dei pozzi

Il completamento dei pozzi sarà realizzato tramite la messa in opera di una tubazione in acciaio inox AISI 316L cieco e micro fessurato (filtro Johnson), avente diametro 6" (168.5 mm ext), spessore minimo 3 mm, dotato di tappo di fondo.

Ciascun pozzo sarà completato secondo di seguito dettagliatamente descritto (dal basso verso l'alto):

- a) posa in opera di un tubo filtro Johnson fino a -1 m dal p.c.;
- b) posa in opera a seguire di un tubo cieco di altezza pari a 1,5 m, di cui 1 m interrato e 0,5 m fuori terra;
- c) sigillatura del fondo foro attraverso la posa in opera di bentonite in pallets;
- d) posa uniforme del pre-filtro (dreno) nell'intercapedine tra il tubo filtro e le pareti del perforo sopra la bentonite e fino ad un'altezza di 0,3 m al di sopra del tratto fenestrato;
- e) posa di uno strato di 0,5 m di bentonite in pallets al di sopra del dreno;
- f) sigillatura con miscela di cemento e bentonite al 10% sino a bocca-foro.

Il dreno sarà costituito da materiale granulare siliceo (chimicamente inerte) di forma arrotondata, ben lavato e non frantumato. Data la tessitura delle rocce e dei sedimenti costituenti l'acquifero, dovrà essere utilizzato materiale avente le seguenti caratteristiche granulometriche (standard ASTM D 5092-4):



- D30 compreso tra 1,2 e 1,5 mm;
- coefficiente di uniformità (D60/D10) compreso tra 1,1 e 1,6.

Date le caratteristiche granulometriche dell'acquifero e del materiale drenante selezionato, le aperture (slots) del tratto fessurato saranno costituite da microfessure di dimensione  $0,5 \div 0,7$  mm.

#### Finitura dei pozzi

La finitura dei pozzi dovrà essere realizzata in accordo con i seguenti criteri generali:

- i pozzi saranno dotati alla loro estremità inferiore di un tappo di fondo, mentre alla sommità sarà posato un tappo con chiusura a tenuta idraulica (filettato o a pressione);
- la testa pozzo sarà protetta con l'installazione di un chiusino cilindrico in ferro fuori terra in vernice antigraffio. Lo stesso sarà centrato sulla tubazione piezometrica e sarà inserito nella porzione superficiale della cementazione prima che questa indurisca. Si dovrà inoltre provvedere all'esecuzione della cementazione sia interna che esterna alla base del chiusino che dovrà essere perfettamente impermeabile rispetto alle acque meteoriche e ad ogni ulteriore eventuale afflusso esterno; in fase di progettazione esecutiva le teste pozzo saranno ingegnerizzate per considerare l'installazione delle linee di mandata dell'interconnecting e delle varie utilities necessarie.

Al termine dei lavori, in corrispondenza di ciascun pozzo si provvederà al rilievo plano-altimetrico riferito ad un caposaldo noto ed alla posa di una targhetta metallica identificativa. La relativa scheda di riferimento, dovrà contenere il codice identificativo, le coordinate X, Y, Z (sia del p.c. che del b.p.), le caratteristiche tecnico-costruttive e in allegato:

- log stratigrafici;
- fotografie del pozzo tali da consentirne la localizzazione rispetto a punti e manufatti di riferimento;
- schema costruttivo;
- planimetria riportante l'ubicazione dell'opera.

#### Sviluppo dei pozzi

Le operazioni di sviluppo dovranno seguire i criteri di seguito specificati:

- prima di avviare le operazioni di sviluppo, sarà necessario lasciare il foro indisturbato per almeno 24 ore al fine di consentire la stabilizzazione della falda a seguito della perforazione;

- sarà necessario misurare la soggiacenza della falda tramite sonda di interfaccia prima di procedere alle attività di sviluppo. Il freatimetro potrà essere utilizzato solo quando vi sia certezza dell'assenza di prodotto in fase separata;
- non dovranno in alcun modo essere utilizzati getti d'acqua o d'aria;
- lo sviluppo del pozzo dovrà essere condotto tramite pompa sommersa fino alla chiarificazione delle acque emunte e comunque fino alla stabilizzazione dei parametri chimici e fisici delle acque di falda (T, pH, potenziale redox, conducibilità elettrica, torbidità);
- a seguito delle operazioni di sviluppo, il pozzo dovrà essere lasciato a riposo per almeno 5 giorni al fine di consentire un riequilibrio dell'acquifero prima di procedere alle eventuali operazioni di campionamento;
- la profondità del pozzo dovrà essere misurata prima e dopo lo sviluppo, per verificare eventuale insabbiamento a causa di possibile richiamo di materiale fine verso l'interno.

#### 8.2.4. INTERCONNECTING AL TAF

Al termine delle attività di installazione dei pozzi verrà realizzato un idoneo sistema di collettamento delle acque emunte al costruendo TAF, oggetto del progetto SOGESID. Le tubazioni saranno in HDPE PN 10 e diametro pari a 100 mm.

### 8.3. OPERE D'INGEGNERIA FORESTALE

#### 8.3.1. SCOPO DELLE OPERE

Il progetto d'ingegneria forestale (per il dettaglio, si veda la Tavola 01 dell'Allegato 4) è finalizzato a limitare progressivamente l'uso di impianti elettro-meccanici per l'asportazione di acque dall'area oggetto di intervento ricorrendo al manto vegetativo: il fenomeno dell'evapotraspirazione provvede infatti a rimuovere l'acqua dal sottosuolo, anche in modo consistente.

In climi ove le sole acque meteoriche non sono sufficienti all'approvvigionamento idrico delle piante, la traspirazione, che corrisponde al consumo idrico di una coltura, fa sì che questa,

attraverso l'approfondimento radicale, riesca ad attingere dalla falda l'ulteriore acqua necessaria alle attività biologiche.

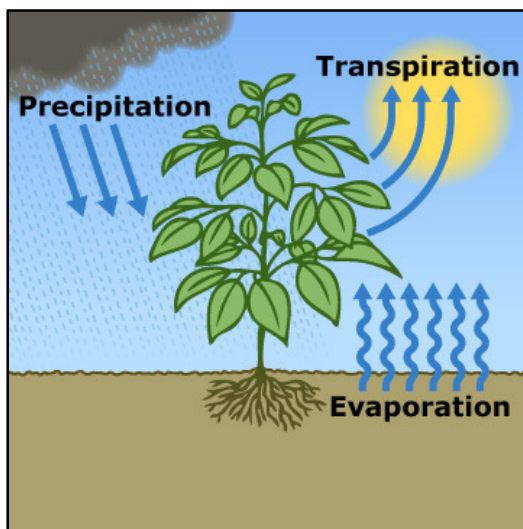


Figura 8.3.1 – Schema del fenomeno di evapotraspirazione.

### 8.3.2. SCELTA DEL MATERIALE VEGETALE

I parametri indicati nei seguenti capitoli, come la scelta delle singole specie da utilizzare, il dettaglio dei sestri di impianto, la distribuzione delle specie, l'età delle essenze vegetali ed altri particolari, saranno ulteriormente approfonditi all'interno della progettazione di dettaglio che verrà sviluppata per l'appalto delle opere.

Nella selezione delle piante maggiormente adatte per le aree oggetto di studio si è tenuto conto di tre parametri: la resistenza alla salinità, la resistenza al ristagno idrico e, se possibile, l'origine autoctona della specie individuata.

Il progetto prevede l'impiego quindi di piante alofite o alofite transitorie, indicate per la loro capacità di assorbire i sali presenti nella soluzione circolante del terreno, in consociazione con specie tolleranti il ristagno idrico ma anche sale-tolleranti (Allegato 4).

Per la struttura dell'impianto si prevede di utilizzare principalmente il salice (**Salix fragilis/alba**) e l'ontano (**Alnus glutinosa**). Queste sono piante pioniere caratterizzate da una crescita molto rapida, che vanno a colonizzare terreni marginali, sopportano bene sia il ristagno idrico che i possibili vari inquinanti. Sono piante presenti in tutta Italia dalla pianura fino alla collina. Affiancate a queste sono state individuate piante con crescita più lenta, ma che raggiungono

maggiori dimensioni e quindi che presentano capacità di evapotraspirare maggiori quantitativi di acqua.

In particolare l'**Eucaliptus sp.**, sebbene specie non autoctona, risulta già presente e ben sviluppata nelle aree in oggetto; questo è stato utilizzato con buoni risultati nella bonifica delle paludi dell'Agro Pontino (1926-1937). Questa pianta, sempreverde, raggiunge facilmente i 25 metri di altezza e ha un apparato radicale molto espanso in grado di assorbire importanti quantità di acqua dal terreno. La resistenza alla salsedine, soprattutto all'areosol che arriva con i venti dal mare, lo vedono utilizzato anche con successo come barriera frangivento lungo le coste, a protezione di piante più sensibili.

Il **Taxodium disticum**, sebbene anch'essa non sia specie autoctona, lo troviamo presente in Italia sia al nord che al sud in svariate piantumazioni. Viene utilizzato nei terreni paludosi, lungo gli stagni e i corsi d'acqua. Possiede infatti caratteristici tubercoli radicali affioranti dal terreno, chiamati pneumatofori, che svolgono funzione di ossigenazione, atti a garantire cioè l'apporto di ossigeno anche in periodi di allagamento del terreno.

Il **Quercus palustris** e **Quercus robur** il primo originario dell'America del nord e il secondo diffuso in tutta Europa, prediligono terreni umidi e tollerano molto bene periodi di ristagno idrico. Sono piante molto longeve e resistenti con una chioma molto espansa.

La **Tamarix gallica** è spontanea lungo le coste mediterranee, cresce su sabbie umide e greti di torrenti. Predilige terreni leggeri e sabbiosi e tollera molto bene i venti dei litorali.

Le piante arboree che meglio possono adattarsi alle caratteristiche di questo luogo dovrebbero essere, prevedibilmente, la tamerice e l'eucalipto, anche se viene segnalata una limitata sopportazione di lunghi periodi di ristagno idrico. Si è scelto quindi di affiancare con altre specie più tolleranti l'asfissia radicale; in particolare l'ontano ed il salice, piante molto rustiche e a rapido sviluppo con caratteristiche di pianta pioniera capace di colonizzare velocemente anche gli ambienti ostili.

In un impianto di essenze ad alto fusto una buona copertura del terreno si ottiene dopo circa 8-10 anni. Nei primi anni di sviluppo, per migliorare la copertura vegetale è opportuno impiantare anche essenze arbustive ed erbacee. Queste garantiranno fin dal secondo anno una buona copertura senza interferire con la crescita degli alberi. Questi infatti, crescendo, ombreggeranno progressivamente gli arbusti e limitandone di conseguenza lo sviluppo, quando non saranno più necessari.

Per la fascia litoranea e per le zone più umide si utilizzerà la **Salicornia sp.** il **Juncus sp.** e la **Phragmites australis**. Queste sono tutte piante autoctone che troviamo nelle paludi salmastre; per la fascia strettamente litoranea si valuterà anche la necessità di ricorrere a barriere frangivento, finalizzate a tutelare le specie più interne, meno tolleranti alla salsedine.

Per le zone meno umide, ma esposte ai venti salmastri, si utilizzerà la ginestra (**Spartium jungeum**), mentre allontanandosi dal mare buoni risultati sono ipotizzati con l'impiego del *Salix repens*, un arbusto adatto ai terreni umidi con una crescita molto veloce (Tavola 05 allegata fuori testo).

Per le schede tecniche delle piante vedasi l'Allegato 4 fuori testo.

### 8.3.3. SESTI D'IMPIANTO

L'area oggetto della piantumazione si presenta con caratteristiche pedologiche differenti. Si individuano delle zone con affioramento della falda, caratterizzate da periodi di ristagno idrico, delle zone litoranee, più soggette all'azione dei venti salmastri e zone più interne più protette dai venti e con presenza di livelli di falda più profondi.

Non essendo opportuno individuare un unico sesto di impianto con una medesima consociazione di piante si è deciso di intervenire in modo differente per ciascuna zona, sia in termini di specie utilizzate sia in termini di sesto d'impianto (Tavola 01 – Allegato 4).

Si prevede di intervenire con le opere d'impianto in 3 differenti momenti successivi, ripartendo l'intera area in 3 lotti:

- 1 lotto (a sud della area sottoposta a intervento) di 12,8 ha area H;
- 2 lotto (a sud-ovest della area sottoposta a intervento) di 13 ha area E;
- 3 lotto (a sud est della area sottoposta a intervento) di 16,9 ha area G.

Di seguito vengono schematicamente riportati i diversi sestii d'impianto prevedibili; detti sestii potranno essere meglio particolareggiati in fase di sviluppo della progettazione di dettaglio che verrà condotta per l'appalto delle opere.

#### **Zona A Ha = 0,6 Sesto di Impianto 0,5X0,5 metri**

<b>Simbolo</b>	<b>Specie</b>	<b>N. piante/ ha</b>
C	<i>Phragmites australis</i>	13333
iJ	<i>Juncus maritimus/sp</i>	13333
SA	<i>Arthrocnemum sp</i>	13333

**Zona B Ha = 0,6 Sesto di Impianto 4X1 metri**

Simbolo	Specie	N. piante/ ha
TA	Tamarix gallica	833
G	Spartium jungeum	1667
C	Phragmites australis	13333
J	Juncus maritimus/sp	13333
SA	Arthrocnemum sp	13333

**Zona C Ha = 0,9 Sesto di Impianto 5X5 metri**

Simbolo	Specie	N. piante/ ha
E	Eucalyptus	280
TA	Tamarix gallica	120
SR	Salix repens	1923
G	Spartium jungeum	1923

**Zona D Ha = 22 Sesto di Impianto 5X5 metri**

Simbolo	Specie	N. piante/ ha
S	Salix alba/fragilis	100
A	Alnus glutinosa	100
E	Eucalyptus	100
Q	Quercus palustris	33
TX	Taxodium distichum	33
TA	Tamarix gallica	33
SR	Salix repens	2564
G	Spartium jungeum	1282

**Zona E Ha = 5 Sesto di Impianto 5X5 metri**

Simbolo	Specie	N. piante/ ha
S	Salix alba/fragilis	187
A	Alnus glutinosa	113
E	Eucalyptus	25
Q	Quercus palustris	25
TX	Taxodium distichum	25
TA	Tamarix gallica	25
SR	Salix repens	3846

**Zona F Ha = 4 Sesto di Impianto 5X5 metri**

Simbolo	Specie	N. piante/ ha
S	Salix alba/fragilis	100
TX	Taxodium distichum	100
SR	Salix repens	2000
C	Phragmites australis	6000
J	Juncus maritimus/sp	6000
SA	Arthrocnemum sp	2000

Per il dettaglio si vedano le Tavole dell'Allegato 4 alla presente relazione.

### 8.3.1. OPERAZIONI D'IMPIANTO DEL MATERIALE VEGETALE

Le operazioni d'impianto consistono nella preparazione preliminare del terreno per accogliere le piante e nella successiva messa a dimora delle stesse.

La preparazione del terreno prevede le seguenti operazioni, da condursi nelle stagioni di seguito indicate:

- Trinciatura dei vegetali presenti (eventuale): autunno precedente l'impianto o inizio inverno.
- Scarificazione profonda: autunno precedente l'impianto o inizio inverno.
- Concimazione organica: autunno precedente l'impianto o inizio inverno.
- Aratura superficiale: tardo inverno
- Fresatura superficiale del terreno: pochi giorni prima la messa a dimora delle piante.
- Tracciamento: pochi giorni prima la messa a dimora delle piante o contestuale lo stesso.

La messa a dimora avviene tramite apertura manuale di buche per soggetti in vaso con diametro inferiore a 20 centimetri, per soggetti in vaso di dimensioni maggiori, o in zolla, si prevede di utilizzare un mini-escavatore.

Prima del riempimento delle buche, gli alberi saranno essere resi stabili per mezzo di tutori di sostegno idonei alla grandezza della pianta (canne di bambù e/o pali tutori) e legature, al fine di



limitare lo scalzamento ad opera del vento. A riempimento ultimato, dopo aver costipato con cura la terra in maniera tale che non rimangano vuoti attorno alla zolla, dovrà essere formata una conca per la ritenzione dell'acqua, attorno alle piante.

Le piante andranno irrigate subito dopo l'impianto per facilitare il costipamento e l'assestamento della terra attorno alle radici ed alla zolla. Attorno ai soggetti arborei verranno poste delle idonee protezioni contro la selvaggina, pertanto si utilizzeranno delle reti cilindriche o triangolari plastiche di altezza di almeno 60 centimetri, fissate mediante l'utilizzo di due tutori ciascuna; l'area sarà inoltre perimetrata da una rete di protezione.

### 8.3.2. STIMA DELL'EVAPOTRASPIRAZIONE POTENZIALE

La valutazione dei consumi evapotraspirativi potenziali delle consociazioni scelte per le aree in esame si è basata sull'applicazione dell'equazione di Heargraves (quaderno FAO 56) a dati meteorologici giornalieri (temperatura massima e minima dell'aria). Al fine di garantire una valutazione sufficientemente cautelativa, i calcoli sono stati effettuati su una serie meteorologica sufficientemente lunga, in grado di descrivere la variabilità meteorologica dell'area in esame. Nel dettaglio si è operato sulla serie meteorologica di Brindisi per il periodo 1993-2012 di proprietà della Rete Agrometeorologica Nazionale del CRA-Cma.

In questo modo si è ottenuta la stima dell'evapotraspirazione di riferimento (Allegato 4) che è stata tradotta in evapotraspirazione potenziale per mezzo di un opportuno coefficiente colturale che mediasse la capacità evapotraspirativa delle consociazioni adottate. Al fine di rendere conto delle annate di costituzione delle consociazioni e quindi del graduale insediamento delle specie stesse si sono inoltre valutati i potenziali evapotraspirativi dei primi 3 anni, ipotizzando un'entrata in regime del sistema a partire dal quarto anno.

In Tabella 8.3.1 viene riportata l'evapotraspirazione potenziale media mensile (media del periodo 1993-2012) per i primi tre anni e per il sistema a regime. Al fine di valutare la capacità di asportazione da parte delle colture viene inoltre riportata la precipitazione media mensile calcolata sul medesimo periodo.

È importante segnalare che in caso di un suolo mantenuto in buone condizioni idriche l'instaurarsi di vegetazione erbacea spontanea dovrebbe fornire un contributo positivo già dal primo anno avvicinando i valori del triennio iniziale a quelli ipotizzabili per il sistema a regime.

Con questo approccio si è ipotizzato che il contenuto idrico dei suoli in esame si mantenga sempre fra la capacità di campo ed il limite di riserva facilmente utilizzabile. Condizioni di eccesso o di carenza (quest'ultima ipotizzabile nei mesi estivi qualora alle normali condizioni di scarsità di precipitazione si associ un limitato apporto idrico dalla falda sottostante) porteranno alla diminuzione del consumo reale della coltura.

**Tabella 8.3.1 – Apporto precipitativo medio mensile dell'area in esame ed evapotraspirazione potenziale nei primi 3 anni di impianto e a regime. I valori sono espressi in mm.**

Mese	Precipitazione	Copertura al 50%	Copertura al 70%	Copertura al 90%	Copertura a regime
Gennaio	754	105	147	200	210
Febbraio	560	137	191	259	273
Marzo	660	242	338	459	483
Aprile	530	372	520	706	743
Maggio	332	587	822	1115	1174
Giugno	191	755	1056	1434	1509
Luglio	228	860	1204	1634	1720
Agosto	297	746	1044	1416	1491
Settembre	768	456	638	866	912
Ottobre	678	257	360	488	514
Novembre	900	136	190	257	271
Dicembre	940	44	61	83	87

Il contributo delle piante, in termini di asportazione di acqua dal suolo avrà quindi un ruolo di primaria importanza nel coadiuvare i trattamenti di "extraction" tradizionali. Potenzialmente, in condizioni ideali, le piante possono assorbire nei mesi vegetativi quantitativi equivalenti alle acque meteorologiche più una quota rilevante; bisogna comunque tener anche presente che: elevata salinità, fitopatologie, competizione con infestanti, carenze nutrizionali, danni meccanici, carenze idriche e saturazione del suolo possono ridurre, anche notevolmente, la capacità evapotraspirativa complessiva.

Per questo motivo la disponibilità dei mezzi elettro-meccanici di emungimento sarà comunque mantenuta in efficienza, almeno per i primi 5 anni di crescita, fino alla stabilizzazione dell'assetto vegetativo dell'area.

#### 8.4. OPERE DI CONFINAMENTO FISICO

##### 8.4.1. SCELTA DELLA TECNOLOGICA

Le barriere fisiche sono costituite da elementi impermeabili realizzati nel terreno, ortogonalmente al deflusso delle acque di falda, al fine di impedire la migrazione delle acque contaminate e di limitare la contaminazione del terreno.

I diaframmi ad escavazione risultano fra le soluzioni che danno maggiore garanzia alla tenuta idraulica della barriera, e definizione certa della geometria realizzativa.

Fra queste sono state individuate tre possibilità:

- Soluzione A – Diaframma plastico composito (con telo in HDPE) di spessore 80 cm;
- Soluzione B – Diaframma plastico di spessore 100 cm senza telo;
- Soluzione C – Diaframma con CSM (cutter soil mixer) di spessore 100 cm (senza telo).

Le caratteristiche intrinseche dei tre tipologici sono di seguito individuate:

- A. diaframma plastico di 80 cm con interposizione del telo garantisce impermeabilità elevata, e consente buon controllo in corso d'opera di verticalità, sovrapposizioni, ecc.
- B. diaframma plastico di 100 cm senza l'interposizione del telo, difficilmente consente il raggiungimento degli stessi livelli di garanzia della soluzione A in termini di permeabilità (ed il rispetto dei margini di sicurezza richiesti dal D.Lgs. 36/2003 per le discariche).
- C. diaframma realizzato con tecnica CSM presenta:
  - difficoltà di raggiungimento dei valori di permeabilità richiesti, in quanto costituito da una miscela di terreno in posto e malte cementizie;
  - difficoltà di raggiungimento delle profondità richieste;
  - difficoltà sulla verticalità di scavo e sulla verifica/collaudò della stessa (sono necessari più sondaggi in asse diaframma).

Inoltre, preso atto che il comune di Brindisi ha appaltato a SOGESID S.p.A. la progettazione definitiva della MISP dell'area Micorosa, e che su quest'ultima sono previsti capping e diaframmatrice a mare (Tavola 04) integrata con il presente progetto di diaframmatrice, la soluzione tecnica più idonea alle caratteristiche di sito e agli obiettivi finali, risulta la realizzazione di un diaframma plastico composito (con telo in HDPE di spessore 2 mm) di spessore pari a 80 cm, con valori di permeabilità inferiori a  $k = 10^{-10}$  m/s.

Il diaframma sarà immerso di almeno 2 m nello strato di argille grigio-azzurre il cui tetto si trova a profondità variabili tra 21 e 28 m da p.c. (profondità media di progetto 27 m).

La tecnologia esecutiva di scavo prevede l'impiego di benna idraulica mordente su fune o kelly con l'uso di fango autoindurente costituito da miscela ternaria acqua/cemento/bentonite ed additivi (ritardanti di presa/ fluidificanti).

Tuttavia, la presenza di strati cementati calcarenitici che possano eventualmente essere riscontrati in alcuni tratti della cinturazione, da circa 2 m a circa 15 m dal p.c., richiede particolari attrezzature integrative di scavo atte a superare tali litotipi (uso complementare di attrezzature di demolizione come idrofresa, fori di alleggerimento ovvero CSM).

Inoltre, in base alle informazioni reperite dalla consultazione del “Progetto As-Built delle aree diaframmate Est e Sud-Est” – Aprile 2003 (gentilmente fornito da Syndial S.p.A.), si evidenzia che nelle aree su citate è già stato realizzato con successo un diaframma plastico composito con telo utilizzando metodologie di soccorso allo scavo con benna mordente, in modo da sopperire alla presenza di tale strato calcarenitico.

Dalle informazioni stratigrafiche attualmente disponibili, è plausibile ipotizzare che alcuni tratti del tracciato presentino stratificazioni di materiali più teneri, per i quali può essere sufficiente l'uso di benna mordente.

Tuttavia, solo a valle dei risultati delle indagini integrative, la progettazione esecutiva potrà determinare le zone e le percentuali di tracciato con o senza demolizione dello strato competente.

#### 8.4.2. IDENTIFICAZIONE DEL TRACCIATO SYNDIAL

In Tavola 04 allegata alla presente relazione è identificato, con le lettere da A a J, l'unicum geometrico degli interventi di MISP.

I tratti DC e EF sono già stati oggetto di intervento di MISP.

La progettazione della cinturazione fisica lungo i tratti IJ e JA, attualmente in corso, è a cura di SOGESID per conto del Comune di Brindisi.

La progettazione e la realizzazione degli interventi lungo i tratti AB-BC, DE, FG-GH, è a cura di Syndial.

Relativamente al tratto HI, come concordato in sede di riunione tecnica tenutasi presso la sede del MATTM in data 13 Luglio 2013 (Comunicazione MATTM, Prot. 0046424/TRI del 02 Settembre 2013), Syndial eseguirà la progettazione degli interventi mentre la loro realizzazione resterà in capo al Comune di Brindisi.

In questa sede sono descritti unicamente gli interventi di cinturazione la cui progettazione è di pertinenza Syndial, secondo la soluzione tecnica A individuata nel paragrafo precedente, sia in relazione alla realizzazione della barriera fisica sia in relazione alle modalità di raccordo con le opere esistenti (connessioni C, D, E, F) e previste (connessioni con i punti H e A).

Lo sviluppo longitudinale complessivo dei tratti progettati da Syndial è di circa 2.236 m.

Per maggiore approfondimento, si rimanda all'Allegato 5 alla presente relazione.

#### 8.4.3. PROPOSTA DI INDAGINI INTEGRATIVE

I dati attualmente disponibili (Tavola 06 e Tavola 08) estratti dalle stratigrafie di alcuni sondaggi eseguiti in prossimità del tracciato di progetto (Allegato 1 all'Allegato 5), non risultano sufficienti alla progettazione esecutiva del diaframma.

Pertanto, sarà preliminarmente necessario eseguire indagini di approfondimento in asse al tracciato previsto, in merito alle caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geotecniche dei terreni direttamente interessati dalla realizzazione dell'opera.

A tale scopo si presenta la proposta non vincolante di esecuzione indagini specialistiche quali:

- sondaggi a carotaggio continuo (N. 12), spinti fino alla profondità di almeno 30 m da p.c., al fine di verificare localmente quota e potenza del possibile strato litoide e quota del tetto delle argille grigie-azzurre;
- prove penetrometriche dinamiche SPT, per la verifica di resistenza degli strati attraversati, da eseguirsi nei litotipi superficiali e profondi, nel corso delle perforazioni;
- profili sismici con metodologia MASW per la valutazione delle VS30;
- perforazioni attrezzate con DACTEST (N. 12) per diagrafie continue dell'energia specifica di perforazione.

L'ubicazione indicativa delle indagini integrative proposte è mostrata in Tavola 07.

#### 8.4.4. GESTIONE DELLE INTERFERENZE

Propedeutica alla progettazione esecutiva, è l'analisi dettagliata di sito in relazione alla gestione delle problematiche legate alla presenza di eventuali interferenze. Di seguito si enumerano, in via preliminare e non esaustiva, alcune tipologie di interferenze visibili fuori terra; la loro posizione è ubicata nella Figura 8.4.1.

Le categorie evidenziate sono di seguito elencate:

- interferenze con strade di servizio;

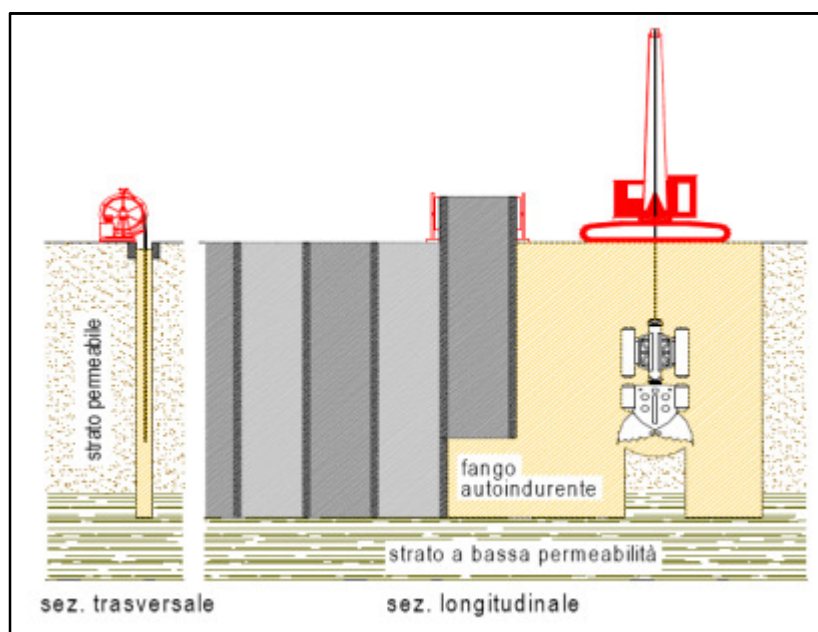


#### 8.4.5. REALIZZAZIONE DEL DIAFRAMMA

Syndial S.p.A.  
Stabilimento di Brindisi

Come già indicato, il tipo di cinturazione fisica previsto è un diaframma plastico composito (con telo HDPE) di spessore 80 cm.

Preventivamente alla esecuzione delle singole tratte, saranno svolte prove di qualificazione dei materiali e campi prova in scala reale per la verifica delle modalità operative in relazione allo scavo, alla posa del telo e al raggiungimento dei valori di permeabilità richiesti ( $< 10^{-10}$  m/s).



**Figura 8.4.2 – Schema di esecuzione diaframma composito.**

La costruzione del diaframma plastico composito prevede normalmente le seguenti fasi operative:

1. realizzazione di una coppia di corree di guida in cls (“muretti guida”) con scavo a sezione obbligata tramite escavatore a benna rovescia;
2. scavo del diaframma mediante idonea attrezzatura (benna idraulica mordente negli strati più teneri, idrofresa/CSM/scalpelli/fori di alleggerimento in eventuali strati lapidei), con fango bentonitico a sostegno delle pareti di scavo;
3. al raggiungimento del fondo scavo, sostituzione della miscela bentonitica con miscela plastica autoindurente costituita da acqua/cemento/bentonite ed eventuali additivi; la miscela autoindurente, una volta maturata, dovrà garantire una permeabilità inferiore a  $1 \times 10^{-10}$  m/s;



4. posa in opera all'interno della trincea di fango autoindurente, tramite telaio o rullo, dei teli impermeabili in HDPE dello spessore di 2 mm e provvisti di giunti a tenuta;
5. sospensione del telo a circa 50 cm al di sopra del p.c.;
6. ripetizione delle operazioni dalla 2 alla 5 con sovrapposizione del telo tramite giunti labirintici;
7. protezione della testa del diaframma plastico mediante un tappo in cls dello spessore di almeno 30 cm (tale fase è prevista solo quando la miscela ha raggiunto il giusto tempo di maturazione).

Di seguito sono inserite alcune immagini esplicative delle varie fasi operative di cui sopra.



**Figura 8.4.3 – Realizzazione delle corree in calcestruzzo.**



**Figura 8.4.4 – Scavo con benna mordente.**



**Figura 8.4.5 – Scavo con idrofresa.**



**Figura 8.4.6 – Messa in opera del telo HDPE.**

#### **8.4.5.1. Giunti di Intersezione**

Lungo il perimetro della cinturazione fisica di pertinenza Syndial, sono presenti alcuni nodi di innesto con opere già esistenti e/o previste dal progetto SOGESID, in corrispondenza dei quali è prevista una progettazione ad hoc che garantisca la continuità fisico – strutturale dell'unicum geometrico.

Le connessioni tipologiche sono suddivise come di seguito:

- a) connessioni tra il nuovo diaframma da realizzare e il diaframma già presente (connessioni perpendicolari) a confinamento della capsula Sud-Est (C, D);
- b) connessioni tra il nuovo diaframma da realizzare e il diaframma già presente (connessioni su geometrie angolari) a confinamento della capsula Sud (E, F);
- c) connessioni tra il futuro diaframma di pertinenza del Comune di Brindisi con il nuovo diaframma Syndial (connessioni in allineamento), qualora non contemporaneo (nodi A e I).

I dettagli costruttivi relativi ai tipologici sopra individuati sono riprodotti in Tavola 07 dell'Allegato 5.

#### 8.4.6. PROVE SUI MATERIALI E CAMPI PROVA

##### **Miscela ternaria**

Prima dell'inizio dei lavori, saranno eseguite in laboratorio prove di qualificazione per la determinazione della composizione e delle caratteristiche delle miscele ternarie (acqua-bentonite-cemento); l'aggiunta di qualsiasi additivo in fase di preparazione della miscela dovrà essere motivata e validata da prove sperimentali.

La miscela impiegata dovrà avere caratteristiche tali da consentire di subentrare ai fanghi che saranno utilizzati per sostenere le pareti di scavo.

Lo studio della composizione della miscela, risultato dai test di laboratorio di cui sopra, sarà orientato al raggiungimento degli obiettivi in fase di scavo, alle tempistiche di posa della geomembrana, agli standard prestazionali richiesti e alla compatibilità chimica degli eventuali contaminanti presenti.

La miscela dovrà avere permeabilità  $k < 10^{-9}$  m/s, resistenza a compressione  $R_c > 100$  kPa, deformabilità relativa  $E_t/R_c < 300$ .

##### **Telo e giunti geomembrana in HDPE**

Per le geomembrane e per i giunti a labirinto, le operazioni di controllo dovranno verificare la rispondenza del materiale alle specifiche tecniche fornite dal produttore.

Le caratteristiche tecniche delle membrane in polietilene ad alta densità (HDPE), l'impermeabilità e la compatibilità chimica, sono fissate dalla norma UNI 8898-6 la quale stabilisce i requisiti minimi.

##### **Campi prova sui pannelli di diaframma**

Prima dell'esecuzione del diaframma, al fine di confermare le modalità operative di scavo e verificare i requisiti di permeabilità della miscela plastica, saranno predisposti alcuni campi prova che prevedono la realizzazione di singoli elementi di pannellatura fuori asse rispetto al tracciato.

Tali campi prova seguiranno le medesime procedure realizzative del diaframma plastico ad esclusione dell'interposizione del telo HDPE, elemento migliorativo delle caratteristiche di impermeabilità del confinamento fisico.

Una volta indurita la miscela, all'interno dei pannelli prova, saranno svolte prove per la determinazione della permeabilità di sito della miscela e della zona di contatto tra il diaframma e le argille di base.

#### 8.4.7. RINFORZO LOCALIZZATO DEL DIAFRAMMA

In adiacenza al tratto di diaframma AB (Tavola 04), a partire dal giunto A e per circa 100 m in direzione Nord, la linea di costa presenta zone potenzialmente soggette ad azione erosiva del litorale.

In tale tratto, il tracciato di diaframma è previsto a circa 18 - 20 m dall'attuale linea di costa, per cui si ritiene opportuno e cautelativo (data l'importanza dell'opera) prevedere un intervento di rinforzo e protezione della parte sommitale del diaframma, al fine di evitare eventuali danneggiamenti nel caso ipotetico in cui l'erosione si spingesse maggiormente verso l'interno (moto ondoso, dilavamento, maree, ecc.).

Pertanto, si prevede di realizzare lungo i 100 m di cui sopra, in affiancamento al diaframma stesso, lato costa, un tratto di palancolatura di circa 6 m di profondità da p.c.; allo stato attuale mediamente pari a circa 2 m s.l.m.

Le palancole da utilizzare (tipo Larssen 603 o equivalente) saranno sospese con un fissaggio permanente sulle corree guida e successivamente conglobate nel getto di chiusura sulla testa del diaframma.

#### 8.5. RIUTILIZZO DEL MATERIALE SCAVATO

I materiali prodotti dallo scavo del diaframma e delle altre opere, laddove non potranno essere riutilizzate nel completamento delle opere stesse, saranno abbancati di volta in volta, con il procedere dei lavori, all'interno dell'area ex Micorosa. Tali materiali contribuiranno a costituire i volumi necessari per la risagomatura dell'area Micorosa, per una quantità stimata di circa 50.000 m<sup>3</sup>.

All'atto dello scavo, il materiale sarà deposto in aree preventivamente predisposte e suddiviso in base alle varie pezzature così da poter essere movimentato definitivamente secondo un piano programmatico di deposizione e riutilizzo. Tale piano sarà sviluppato in dettaglio nella progettazione esecutiva.

Anche il materiale proveniente dal dissabbiatore dell'impianto di produzione fanghi, una volta disidratato nei depositi temporanei, sarà riutilizzato all'interno dell'area cinturata.

La classificazione granulometrica e i controlli sulla qualità chimica del materiale in oggetto, saranno predisposti in modo da effettuare le opportune verifiche su cumuli.

## **9. COLLAUDI DELLE OPERE**

Le opere previste dovranno essere collaudate con le verifiche necessarie a garantirne la corretta esecuzione. Di seguito si illustrano le proposte per tali verifiche suddivise per singolo intervento, fermo restando che tali proposte potranno essere modificate, integrate o sostituite in sede di progettazione di dettaglio e comunque saranno disciplinate dal contratto tra Committente ed Appaltatore.

### **9.1. RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE DEL CANALE PANDI**

Il collaudo dell'opera di deviazione del tratto terminale del canale e di tombatura di quello preesistente dovranno avvenire sia in corso d'opera che al termine dei lavori; in linea di principio dovrà quindi riguardare:

- la verifica delle quote di progetto e delle dimensioni del canale in scavo;
- la verifica della rispondenza al capitolato delle caratteristiche tecniche dei teli e delle metodologie di posa degli stessi;
- la verifica della conformità al capitolato del materiale e della formazione delle arginature;
- la verifica statica delle opere strutturali utilizzate per la realizzazione degli attraversamenti;
- la rispondenza ai criteri previsti dal D.L.gs. 152/06 e s.m.i. in materia di riutilizzo e gestione delle terre di scavo.

### **9.2. OPERE DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE DI FALDA**

Il collaudo dei pozzi di regimazione delle acque sotterranee sarà eseguito a fine lavori e sarà finalizzato a verificare le prestazioni in termini di portata di emungimento e di efficienza idraulica dei pozzi, ciò si può realizzare mediante l'ausilio di:

- misure del diametro e della profondità del singolo pozzo;
- prove di emungimento a gradini di portata;
- prove di emungimento a portata costante.

### 9.3. OPERE DI INGEGNERIA FORESTALE

Non trattandosi di opera d'ingegneria civile non è previsto il collaudo secondo i criteri stabiliti dalle norme vigenti; altresì si potrà procedere in corso d'opera ed a fine lavori alla verifica:

- della rispondenza al capitolato delle caratteristiche piante e delle metodologie di impianto;
- dello stato di salute delle piante secondo il programma di monitoraggio e manutenzione previsto nella sezione 9 del presente progetto;
- della rispondenza ai criteri previsti dal D.Lgs. 152/06 e s.m.i. in materia di riutilizzo e gestione delle terre di scavo provenienti dalle operazioni d'impianto.

### 9.4. OPERE DI CONFINAMENTO FISICO

Le indagini di collaudo proposte e finalizzate alla verifica della corretta esecuzione dell'opera di confinamento, si pongono l'obiettivo di individuare eventuali difetti costruttivi o anomalie prestazionali del diaframma plastico composito; nella pratica comune ciò si realizza attraverso le seguenti prove (Tavola 09):

- test distruttivi nei Pannelli di Prova;
- test con traccianti.

#### 9.4.1. COLLAUDI DISTRUTTIVI NEL PANNELLO DI PROVA

Per la verifica delle caratteristiche di permeabilità del diaframma plastico, si propone la realizzazione di due pannelli di prova, in corrispondenza dei tratti BC e HI (Tavola 04), in prossimità della cinturazione, internamente all'area confinata.

La Tavola 09 mostra la posizione dei due pannelli di prova proposti.

In sede di collaudo, le aree di attività non dovranno essere soggette al passaggio di mezzi di cantiere, allo scopo precipuo di evitare compromissioni di tipo funzionale durante le fasi operative, a causa di urti accidentali e/o vibrazioni.

In sede di progetto definitivo, si suggerisce l'impiego di pannelli fuori asse al tracciato, al fine di non compromettere la funzionalità del diaframma, trattandosi di controlli distruttivi.



Tale scelta, tuttavia, non è vincolante, in fase di progettazione di dettaglio, si potrà optare per prove differenti o in numero e pozione diversa da quanto qui proposto.

Si propongo quindi, in ciascuno dei pannelli di prova n. 2 prove di permeabilità (tipo Lefranc):

- 1 prova per la determinazione della permeabilità della miscela plastica del diaframma;
- 1 prova per la determinazione della permeabilità nella zona di contatto tra il diaframma e il substrato impermeabile.

I due pannelli di prova (denominati PP1, PP2) saranno realizzati, sia nella fase di scavo che in quella di getto della miscela plastica, con le stesse modalità del diaframma plastico (ad esclusione del telo HDPE). La miscela plastica sarà gettata contemporaneamente al tratto di diaframma di pertinenza.

La metodologia esecutiva del pannello di prova non prevede l'introduzione del telo HDPE. Tale scelta permette una maggiore versatilità operativa nell'esecuzione della prova di collaudo e, allo stesso tempo, consente di verificare caratteristiche di permeabilità che, se confermate, risulteranno chiaramente migliorate con la messa in opera della geomembrana in fase esecutiva. Ciascun pannello di prova avrà lunghezza di almeno 3 m.

Prima di procedere al getto della miscela, nel pannello saranno annegati 2 tubi in acciaio (DN 138 mm) dotati di un fondello di chiusura per evitare che si riempiano di miscela plastica durante il getto.

I tubi avranno lunghezza diversa:

- l'estremità inferiore del tubo più profondo (tubo P) dovrà posizionarsi a 25 cm dal fondo del pannello;
- l'estremità inferiore del tubo più superficiale (tubo S) dovrà posizionarsi a metà dell'acquifero.

Prima di procedere con il getto della miscela plastica e con l'installazione dei tubi, si dovrà verificare che siano disponibili a bordo pannello spezzoni di tubo filettati di lunghezza idonea per raggiungere le profondità richieste. Nel calcolo della lunghezza finale della tubazione, si deve considerare che la testa tubo dovrà sporgere di 20-25 cm rispetto al piano della correa. In fase d'inserimento della tubazione si dovrà avere cura che i vari spezzoni siano ben serrati e che i filetti siano ingrassati. Per consentire di annegare le tubazioni nella miscela, queste saranno via via riempite di acqua pulita e immerse sino a sporgere di 20 cm rispetto al piano delle corree. Per poterle mantenere in posizione sino all'avvenuta presa e indurimento della miscela plastica, le teste delle tubazioni saranno rese solidali a staffe che poggeranno sulle corree di guida.

Le verifiche di permeabilità del diaframma plastico saranno realizzate mediante prove di permeabilità in tasche realizzate all'interno della miscela e al contatto tra la miscela e il substrato, in un periodo indicativamente compreso tra 30 e 45 giorni dal getto della miscela.

Tale intervallo di tempo potrà chiaramente variare sulla base dei risultati ottenuti nel corso delle prove di qualificazione della miscela.

In corrispondenza di ciascuno dei due pannelli di prova, si procederà quindi con la realizzazione di due tasche di prova:

- una tasca realizzata interamente nella miscela plastica utilizzando il tubo S;
- una tasca realizzata nella zona di contatto tra diaframma e substrato argilloso, utilizzando il tubo P.

Di seguito sono illustrate le fasi della procedura esecutiva:

- Fase 1 – Inserimento nel tubo S di un carotiere semplice da 101 mm e asportazione del tappo di fondo. Perforazione di una tasca da 101 mm di diametro e profonda 1 m dal fondo del tubo. Si dovrà evitare di toccare il tubo immerso nella miscela per non comprometterne la tenuta. Riempimento della tasca e del tubo con acqua pulita e attesa di almeno 48 ore per garantire la saturazione del tratto di prova. La carota estratta sarà sigillata e inviata in laboratorio per essere sottoposta a prove di permeabilità;
- Fase 2 – Inserimento nel tubo P di un carotiere semplice da 101 mm e asportazione del tappo di fondo. Perforazione di una tasca da 101 mm di diametro sino a intestarsi per almeno 50 cm nel terreno naturale in cui è immersa l'opera. La carota estratta sarà fotografata e conservata in cassetta catalogatrice;
- Fase 3 – Esecuzione delle prove Lefranc secondo le modalità descritte nelle Raccomandazioni AGI.

#### 9.4.2. TEST CON TRACCIANTI

Obiettivo del test di collaudo tramite traccianti è di verificare l'assenza di infiltrazioni attraverso il diaframma perimetrale di contenimento.

L'eventuale presenza di condizioni di discontinuità all'interno del diaframma plastico, produrrebbe flussi di filtrazione perpendicolari allo stesso, vanificandone, almeno localmente, la funzione di setto separatore.

Sono state quindi identificate in via preliminare come sezioni potenzialmente critiche del diaframma:

- a) le sezioni in cui il tracciato del diaframma cambia direzione;
- b) le sezioni di intersezione tra il diaframma in progetto e le opere di confinamento già esistenti (cinturazione delle aree Sud-Est e Sud dello Stabilimento Petrolchimico) ovvero previste (diaframma lungo il confine Sud-Est dell'Area Micorosa);
- c) la base del diaframma, nella zona di contatto tra la miscela plastica ed il substrato impermeabile.

In sede di progettazione esecutiva, la definizione del tracciato così come la realizzazione delle intersezioni di cui ai punti a) e b) in elenco, potrebbero subire modifiche per ragioni operative e tecniche; per tale motivo, i test qui proposti non devono essere considerati vincolanti alla stessa progettazione, ancorché vengano condivisi principi e finalità qui esposte.

Sono stati previsti quattro campi prova, in corrispondenza di altrettanti punti significativi, ciascuno costituito da 4 piezometri allineati in direzione perpendicolare al tracciato del diaframma (2 interni all'area cinturata (PZ-I1 e PZ-I2) e 2 esterni alla stessa (PZ-E1 e PZ-E2). Per il dettaglio si vedano la Tavola 09 e l'Allegato 5.

Il tracciante, che dovrà essere opportunamente selezionato tenendo conto del contesto idrogeologico ed idrochimico, sarà immesso nel piezometro più interno PZ-I1, mentre gli altri tre piezometri saranno sottoposti a monitoraggio continuo per evidenziare eventuali arrivi della sostanza tracciante.

Per realizzare il test, dovrà essere messo in pompaggio il piezometro più esterno (PZ-E2), al fine di favorire l'eventuale moto di filtrazione attraverso il diaframma, massimizzando in tal modo le azioni di richiamo del tracciante.

I 2 piezometri intermedi (PZ-I2 e PZ-E1) saranno utilizzati per monitorare l'eventuale attraversamento del diaframma da parte del tracciante.

Il piezometro più esterno sarà utilizzato come punto di eventuale recapito del tracciate in condizioni di flusso forzato, cioè in emungimento.

Il test in fase esecutiva dovrà essere progettato considerando le seguenti ipotesi concettuali:

- in assenza del diaframma impermeabile, il tracciante immesso nel piezometro più interno (PZ-I1) verrebbe richiamato dai moti di filtrazione indotti dal pompaggio (PZ-E2) e transiterebbe quindi attraverso i due piezometri intermedi (PZ-I2 e PZ-E1);
- in presenza di discontinuità nel diaframma impermeabile, il tracciante verrebbe richiamato dai moti di filtrazione indotti dal pompaggio e, almeno in parte, transiterebbe

attraverso i due piezometri intermedi. Sicuramente ne risulterebbe traccia all'esterno dell'opera di confinamento;

- in presenza del diaframma integro, il tracciante, non subendo il richiamo del piezometro in pompaggio, si disperderebbe lentamente intorno al punto di immissione, seguendo la geometria della superficie freatica della falda. Il tracciante non dovrà essere rilevato nei 2 piezometri esterni (PZ-E1 e PZ-E2).

Il test prevede inoltre la verifica delle condizioni chimiche e idrauliche su tutti i piezometri eventualmente disponibili ed il monitoraggio delle condizioni meteorologiche locali, utilizzando i dati raccolti e storicizzati da una centralina meteorologica più prossima all'area di lavoro.

In sintesi, i risultati relativi alla presenza di tracciante nei due piezometri esterni, potranno dare:

- esito negativo: si riterrà confermata la tenuta del diaframma;
- esito positivo: saranno calcolati i tempi di arrivo, di massima concentrazione, di concentrazione media ponderata del tracciante al punto di recapito per consentire la definizione delle velocità di filtrazione. Il confronto delle velocità di arrivo ai diversi punti di controllo interni ed esterni alle aree di intervento, permetterà di valutare il grado di integrità del diaframma.

## **10. PIANO DI MONITORAGGIO**

Si riporta di seguito il piano di monitoraggio degli interventi finalizzato alla verifica della efficacia in termini prestazionali delle opere realizzate.

### **10.1. OPERE D'INGEGNERIA FORESTALE**

#### Installazione dei piezometri per il controllo dei livelli di falda

Al fine di controllare nel tempo l'adeguamento del livello di falda all'azione di suzione delle piante attraverso il loro apparato radicale, saranno realizzati n° 5 piezometri all'interno dell'area cinturata, denominati Pz-F1÷5 (Tavola 10).

I piezometri saranno intestati di circa 7 metri all'interno dell'acquifero. Ciascun piezometro sarà realizzato a carotaggio continuo, diametro minimo 159 mm. Una volta eseguita a quota la pulizia del foro, si inserirà la tubazione in HDPE da 4" fino a fondo foro; quindi si procederà all'immissione, nell'intercapedine colonna - tubazione, di materiale granulare siliceo in modo da realizzare un filtro poroso attorno al tratto di colonna fenestrato. Tale operazione va eseguita ritirando la tubazione provvisoria mano a mano che si procede con l'immissione dall'alto del materiale filtrante, curando di controllare la quota di questo con idonei sistemi di misura (cordelle metriche, etc.). Il bordo inferiore della tubazione dovrà sempre trovarsi al di sotto della quota raggiunta dal materiale di riempimento.

Al termine della formazione del filtro si procederà alla sigillatura del tratto cieco con miscela ternaria acqua-cemento-bentonite iniettata nell'intercapedine tra il tubo di rivestimento e il tubo HDPE. Per evitare fenomeni di riflusso della miscela ternaria all'interno del piezometro verrà posto un livello di almeno 50 cm di bentonite in pellets al tetto del dreno.

In corrispondenza di ciascun piezometro sarà posizionata una palina di segnalazione per facilitarne e renderne immediata l'ubicazione.

Il piezometro sarà univocamente riconosciuto tramite rilievo piano altimetrico.

#### Monitoraggi

- Rilievo piezometrico con cadenza semestrale.

#### Controlli ed interventi di manutenzione

Nei primi cinque anni dell'impianto sono previsti dei risarcimenti, ovvero delle integrazioni di piante morte o deformate. Successivamente a questo periodo non sarà più conveniente

sostituire eventuali fallanze in quanto l'accrescimento delle piante sarà tale da generare una competitività verso le nuove piante che difficilmente riuscirebbero a crescere rigogliose.

Nel primo e secondo anno successivo all'impianto sono previste tre ripuliture dell'area (Maggio, Luglio e Settembre). La ripulitura consisterà nel trinciare la vegetazione spontanea per una fascia di circa 1,5-2 metri lungo la fila, mentre nell'interfila sia dove sono stati piantumati gli arbusti sia quelle incolte non verrà eseguita alcuna lavorazione.

Tra il terzo e il decimo anno si prevede di ridurre a due le ripuliture rispettivamente a Maggio e Settembre. Mentre dopo il decimo anno le piante dovrebbero creare una competizione tale da non rendere più necessarie le ripuliture, tuttavia si potrebbe ipotizzare di effettuare una ripulitura nel mese di Giugno.

Se gli arbusti messi a dimora nelle interfile o la vegetazione spontanea dovessero creare competizione alle piante principali si provvederà a trinciare tutto lo spazio interfila. Questa operazione però sarà valutata nel momento in cui gli arbusti dovessero recare danno.

Nei primi tre anni se le condizioni climatiche lo rendessero necessario sono da prevedere delle irrigazioni di soccorso.

Nei primi cinque anni si dovranno eseguire sulle specie principali le potature di formazione, che dovranno garantire il mantenimento della dominanza apicale. L'innalzamento della chioma negli anni successivi dovrebbe essere garantito dalla competizione che si viene a creare tra i soggetti allevati.

La composizione specifica varia e la buona preparazione del terreno, dovrebbero limitare l'insorgenza di patologie o l'attacco di insetti. Nel momento in cui si verificassero delle patologie si interverrà tempestivamente con prodotti specifici.

**Tabella 10.1 – Piano decennale di intervento.**

PIANO DECENNALE DI MANUTENZIONE				
ANNO	POTATURA	IRRIGAZIONE	RIPULITURA	RISARCIMENTI
I	Di formazione	Di soccorso	Maggio - Luglio - Settembre	Se necessari
II	Di formazione	Di soccorso	Maggio - Luglio - Settembre	Se necessari
III	Di formazione	Di soccorso	Maggio - Settembre	Se necessari
IV	Di formazione	-	Maggio - Settembre	Se necessari
V	Di formazione	-	Maggio - Settembre	Se necessari
VI - X	-	-	Maggio - Settembre	-

## 10.2. OPERE DI CONFINAMENTO FISICO

I monitoraggi da effettuare si configurano sostanzialmente come un monitoraggio dei livelli piezometrici all'interno/all'esterno del confinamento fisico finalizzato a verificare il raggiungimento, degli obiettivi progettuali, cioè il confinamento delle contaminazioni e la messa in sicurezza del sito.

E' prevista l'installazione di coppie di piezometri (uno interno, l'altro esterno al confinamento) che consentano, attraverso la misura dei livelli piezometrici con cadenza semestrale, la verifica della disconnessione idraulica operata dal confinamento.

Nello specifico, la rete di monitoraggio sarà costituita da 6 coppie di piezometri, 4 coppie formate dai piezometri realizzati in posizione intermedia (PZ-I2 e PZ-E1) per l'esecuzione dei test di collaudo tramite tracciante e due coppie da realizzarsi ex-novo a cavallo del tratto AB e GH. Per il dettaglio si veda la Tavola 06 in Allegato 5.

### Installazione dei piezometri per i controlli

Le coppie di piezometri di cui sopra consentiranno di rilevare i livelli piezometrici e controllare l'esistenza di un gradiente idraulico positivo (i livelli all'interno della barriera devono essere inferiori a quelli misurati esternamente), il cui mantenimento costituisce un elemento di sicurezza in relazione ad un'eventuale propagazione della contaminazione in direzione laterale rispetto alla barriera.

I piezometri saranno intestati di circa 0,5 metri nel livello impermeabile delle argille di base. Ciascun piezometro sarà realizzato a carotaggio continuo, diametro minimo 159 mm. Una volta eseguita a quota la pulizia del foro, si inserirà la tubazione in HDPE da 4" fino a fondo foro; quindi si procederà all'immissione, nell'intercapedine colonna - tubazione, di materiale granulare siliceo in modo da realizzare un filtro poroso attorno al tratto di colonna fenestrato. Tale operazione va eseguita ritirando la tubazione provvisoria mano a mano che si procede con l'immissione dall'alto del materiale filtrante, curando di controllare la quota di questo con idonei sistemi di misura (cordelle metriche, etc.). Il bordo inferiore della tubazione dovrà sempre trovarsi al di sotto della quota raggiunta dal materiale di riempimento.

Al termine della formazione del filtro si procederà alla sigillatura del tratto cieco con miscela ternaria acqua-cemento-bentonite iniettata nell'intercapedine tra il tubo di rivestimento e il tubo HDPE. Per evitare fenomeni di riflusso della miscela ternaria all'interno del piezometro verrà posto un livello di almeno 50 cm di bentonite in pellets al tetto del dreno.

In corrispondenza di ciascun piezometro sarà posizionata una palina di segnalazione per facilitarne e renderne immediata l'ubicazione.

Tutti i dati registrati saranno raccolti in una relazione tecnica corredata di stratigrafie di dettaglio e report fotografico per ogni sondaggio eseguito e sezioni stratigrafiche.



Per ogni piezometro dovrà essere fornita la seguente documentazione:

- caratteristiche geometriche e quote dei tratti filtranti e ciechi e dei relativi tratti drenanti o sigillati;
- coordinate planoaltimetriche e quote assolute riferite ad un caposaldo;
- stratigrafie dei terreni espresse in profondità e in quote assolute;
- documentazione fotografica delle cassette catalogatrici.

## **11. CRITERI DI PROTEZIONE DEI LAVORATORI**

### **11.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Nell'ambito dei lavori di messa in sicurezza permanente dell'area Micorosa e delle Aree Syndial E, G ed H dovrà essere adeguatamente affrontato il tema della sicurezza per i lavoratori e per i fruitori delle aree influenzate dal cantiere, come previsto nel decreto legislativo D.Lgs. 81/08 e s.m.i.

Il D.lgs.81/08 e s.m.i. definisce all'art. 89 come cantiere temporaneo o mobile, quindi ricadente nel cosiddetto Titolo IV, qualunque luogo in cui si effettuano lavori edili o di ingegneria civile di cui all'elenco riportato nell'Allegato X allo stesso decreto ovvero:

- i lavori di costruzione, manutenzione, riparazione, demolizione, conservazione, risanamento, ristrutturazione o equipaggiamento, la trasformazione, il rinnovamento o lo smantellamento di opere fisse, permanenti o temporanee, in muratura, in cemento armato, in metallo, in legno o in altri materiali, comprese le parti strutturali delle linee elettriche e quelle degli impianti elettrici, le opere stradali, ferroviarie, idrauliche, marittime, idroelettriche e, solo per la parte che comporta lavori edili o di ingegneria civile, le opere di bonifica, di sistemazione forestale e di sterro;
- gli scavi, il montaggio e lo smontaggio di elementi prefabbricati utilizzati per la realizzazione di lavori edili o di ingegneria civili.

Le attività descritte nel presente progetto implicano lavori di ingegneria civile. Pertanto, tali attività rientrano in Titolo IV e sono da considerarsi attività di cantiere come definito dall'art. 89. In tal caso il Committente è soggetto, ai sensi del D.lgs. 81/08 e s.m.i. ad una serie di obblighi. In particolare:

#### **Articolo 90**

- Nella fase di progettazione dell'opera, il committente deve:
  1. attenersi alle misure generali di tutela (art. 15) al momento delle scelte architettoniche, tecniche ed organizzative e all'atto della previsione della durata di realizzazione dei lavori o delle fasi di lavori;
  2. nominare, per i cantieri dove è prevista la presenza anche non contemporanea di più imprese esecutrici, il Coordinatore della Sicurezza in fase di Progettazione;

3. prendere in considerazione i documenti di cui all'art. 91 comma a) e b) ovvero il Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) i cui contenuti devono essere quelli previsti dall'Allegato XV al D.lgs. 81/08 e s.m.i e il Fascicolo i cui contenuti devono essere quelli previsti dall'Allegato XVI allo stesso Decreto. Sia PSC che fascicolo sono redatti dal Coordinatore della Sicurezza in fase di Progettazione (art. 91).

Pertanto, in fase di progettazione esecutiva sarà necessario nominare un coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione e preparare un piano di coordinamento.

- Nella fase di affidamento dei lavori il committente deve:
  1. nominare, per i cantieri dove è prevista la presenza anche non contemporanea di più imprese esecutrici, il Coordinatore della Sicurezza in fase di Esecuzione (art.92);
  2. comunicare alle imprese affidatarie e ai lavoratori autonomi i nominativi del Coordinatore della Sicurezza in fase di Progettazione ed Esecuzione da indicare nel cartello di cantiere;
  3. verificare l'idoneità tecnico professionale delle imprese affidatarie, di quelle esecutrici e dei lavoratori autonomi in relazione alle funzioni o ai lavori da affidare. La verifica deve essere condotta richiedendo i documenti previsti dall'Allegato XVII del decreto;
  4. chiedere alle imprese esecutrici una dichiarazione dell'organico medio annuo, distinto per qualifica, corredata degli estremi INPS ed INAIL, una dichiarazione del contratto collettivo applicato.
- Prima dell'inizio dei lavori il committente deve:
  5. trasmettere all'ASL e alla Direzione Provinciale del Lavoro territorialmente competenti, la notifica preliminare elaborata conformemente all'Allegato XII del decreto nonché i suoi aggiornamenti (art. 99);
  6. in caso di lavori oggetto di DIA o di permesso a costruire, trasmettere all'Amministrazione concedente copia della notifica preliminare di cui al punto precedente, il documento unico di regolarità contributiva (DURC) delle imprese e dei lavoratori autonomi, la dichiarazione di avvenuta verifica dei documenti di cui ai punti 3 e 4.

Inoltre, gli obblighi del coordinatore per la progettazione sono descritti all'articolo 91 come segue:

**Articolo 91 - Obblighi del coordinatore per la progettazione**

1. Durante la progettazione dell'opera e comunque prima della richiesta di presentazione delle offerte, il coordinatore per la progettazione:
  - redige il piano di sicurezza e di coordinamento di cui all'articolo 100, comma 1, i cui contenuti sono dettagliatamente specificati nell'ALLEGATO XV della norma;
  - predispone un fascicolo, i cui contenuti sono definiti all' nell'ALLEGATO XVI, contenente le informazioni utili ai fini della prevenzione e della protezione dai rischi cui sono esposti i lavoratori, tenendo conto delle specifiche norme di buona tecnica e dell'allegato II al documento UE 26 maggio 1993. Il fascicolo non è predisposto nel caso di lavori di manutenzione ordinaria di cui all'articolo 3, comma 1, lettera a) del testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia di edilizia, di cui al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380.

**11.2. LINEE GUIDA PER LA REDAZIONE DEI DOCUMENTI**

Durante l'esecuzione delle attività previste nel presente progetto, dovranno essere adottate tutte le disposizioni per la salute e la sicurezza dei lavoratori. Tutto il personale dovrà ottemperare alle disposizioni di sicurezza previste in sito, comprese quelle più restrittive relative ai rischi specifici di cantiere, nel rispetto di quanto previsto dal Piano di Sicurezza e Coordinamento e dai POS redatti dalle imprese esecutrici dei lavori.

Tutto il personale che prenderà parte direttamente o indirettamente ai lavori, dovrà essere informato sui seguenti argomenti:

- tipo di inquinanti che si potrebbero trovare e relativi effetti sulla salute;
- dotazioni di sicurezza personali (DPI);
- misure di immediata assistenza in caso di incidente e procedure di pronto soccorso;
- personale responsabile dei vari aspetti della sicurezza;
- misure di emergenza in caso di incendio;
- normativa riguardante la sicurezza.

Le norme di legge e le disposizioni aziendali di Syndial in materia di sicurezza, salute e tutela ambientale richiedono anche:

- la preventiva individuazione e valutazione delle condizioni di pericolo e dei rischi;
- l'attuazione di misure di sicurezza di tipo tecnico e procedurale, idonee a prevenire e a proteggere la salute dei lavoratori e la sicurezza degli impianti;
- il coordinamento delle attività e l'informazione reciproca tra il Responsabile di Reparto, il Responsabile Aziendale del lavoro, il Preposto ai lavori di Impresa e gli esecutori dei lavori per gli interventi di prevenzione e protezione;
- che l'esecuzione di lavori diversi dalle normali attività lavorative, non procedurali nella documentazione aziendale (istruzioni operative, procedure di sicurezza, ecc.), sia autorizzata su "Permessi di lavoro" o documenti similari.

## 12. PIANO TEMPORALE DEGLI INTERVENTI

Successivamente all'approvazione del Progetto da parte delle Autorità, per l'esecuzione delle attività in carico a Syndial, si prevedono in totale circa 3 anni solari di lavoro. Le tempistiche, suddivise per singolo intervento, sono riportate in Tabella 12.1 ed in maggior dettaglio in Allegato 6.

Si segnala inoltre che il presente piano temporale è stato redatto tenendo conto delle tempistiche previste da SOGESID per la realizzazione delle opere a carico del Comune di Brindisi.

Al fine di ottimizzare i tempi di esecuzione, alcuni interventi potranno essere svolti in contemporanea per differenti aree di lavoro (Tabella 12.2).

Tutte le attività saranno realizzate senza soluzione di continuità ad eccezione delle opere di ingegneria forestale per le quali si prevedono gli impianti in 3 anni successivi, nel periodo precedente la ripresa vegetativa, ovvero nel tardo inverno.

**Tabella 12.1 - Stima dei giorni solari di lavoro suddivisi per singolo intervento.**

ATTIVITA'		DURATA
A	Procurement, Permitting e Progettazione esecutiva	360 gg
B1	Riqualificazione ambientale del canale Pandi	270 gg
B2	Opere d'ingegneria forestale	270 gg
B3	Opere di regimentazione delle acque di falda	330 gg
B4	Opere di confinamento fisico	450 gg
C	Collaudo delle opera	540 gg

**Tabella 12.2 - Rappresentazione grafica del piano temporale degli interventi su base semestrale.**

FASE	DESCRIZIONE	SEMESTRE	1	2	3	4	5	6
A	Procurement, Permitting e Progettazione esecutiva*							
A1	Procurement, Indagini propedeutiche e progettazione esecutiva							
A2	Permitting							
B	Attività esecutive opere di MISP							
B1	Riqualificazione ambientale del canale Pandi*							
B2	Opere d'ingegneria forestale							
B3	Opere di regimazione delle acque di falda (pozzi ed interconnecting)							
B4	Opere di confinamento fisico							
C	Collaudo delle opere							

 L'avvio delle attività di procurement, permitting e progettazione esecutiva sono subordinate all'approvazione del Progetto Operativo di MISP da parte delle Autorità di Controllo.

\* L'avvio delle attività esecutive di riqualificazione ambientale del Canale Pandi sono subordinate all'approvazione da parte delle Autorità Locali del relativo Studio di Impatto Ambientale.



### 13. COSTI DEGLI INTERVENTI DELLE AREE SYNDIAL

Nella Tabella 13.1 seguente sono illustrati i costi totali relativi agli interventi descritti nel presente documento. Per il dettaglio si rimanda all'Allegato 7.

Il valore degli interventi ammonta a **circa 16.880.000 EURO** +/-20%.

**Tabella 13.1 – Computo metrico delle Opere di Messa in Sicurezza Permanente.**

COMPUTO METRICO DELLE OPERE DI MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE		
	Attività	Costo Totale
<b>1</b>	<b>ATTIVITA' PROPEDEUTICHE</b>	
1.1	TRACCIAMENTI	€ 5.000,00
1.2	INDAGINI GEOGNOSTICHE PRELIMINARI	€ 62.500,00
1.3	INDAGINI GEOFISICHE PRELIMINARI	€ 34.000,00
1.4	ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO	€ 8.500,00
1.5	ANALISI ED ELABORAZIONE DEI DATI	€ 20.000,00
	<b>TOTALE ATTIVITA' PROPEDEUTICHE</b>	<b>€ 130.000,00</b>
<b>2</b>	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA</b>	
2.1	PROGETTO ESECUTIVO	€ 200.000,00
	<b>TOTALE PROGETTAZIONE ESECUTIVA</b>	<b>€ 200.000,00</b>
<b>3</b>	<b>REALIZZAZIONE DELLE OPERE</b>	
3.1	ACCANTIERAMENTO	€ 170.200,00
3.2	INTERFERENZE	€ 200.000,00
3.3	REALIZZAZIONE DEL DIAFRAMMA PLASTICO COMPRESO MOB E DEMOB	€ 13.150.400,00
3.4	MONITORAGGI E COLLAUDI IN CORSO D'OPERA	€ 440.000,00
3.6	RINFORZO DEL DIAFRAMMA	€ 112.000,00
3.7	ESECUZIONE DI GIUNTI DI INTERCONNESSIONE	€ 620.000,00
3.9	RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE CANALE PANDI	€ 518.550,00
3.10	OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA FORESTALE	€ 568.850,00
3.11	OPERE DI REGIMAZIONE DELLA FALDA ACQUIFERA	€ 400.000,00
3.12	RIPRISTINO FINALE DELLE AREE DI LAVORO	€ 30.000,00
	<b>TOTALE REALIZZAZIONE DELLE OPERE</b>	<b>€ 16.210.000,00</b>
	<b>IMPORTO COMPLESSIVO DEI LAVORI</b>	<b>€ 16.540.000,00</b>
	<b>ONERI PER LA SICUREZZA</b>	<b>€ 340.000,00</b>
	<b>TOTALE VALORE PROGETTO DI MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE</b>	<b>€ 16.880.000,00</b>

Relativamente ai costi di Operation & Maintenance (O&M) si considerano circa 200.000,00 euro/anno<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Tale costo include il trattamento delle acque di falda emunte per le aree esterne, con elevate concentrazioni di composti organoclorurati, principalmente CVM, clorobenzeni e cloruri.

## TAVOLE