



**Progetto Operativo di  
Messa In Sicurezza  
Permanente di parte  
delle aree esterne  
Syndial  
Allegato 1**

**Stabilimento di Brindisi**

Ottobre 2013

Progetto 46318615

Preparato per: syndial S.p.A.

ITALY



## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO DELL'AREA.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>Ubicazione.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2</b>	<b>Geologia locale.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3</b>	<b>Idrogeologia locale.....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA UTILIZZATA.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1</b>	<b>Calcolo delle CSR per la salute umana.....</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>INDIVIDUAZIONE DELLE SOSTANZE POTENZIALMENTE CRITICHE (COPCS).....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>DEFINIZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE DEL SITO (MCS).....</b>	<b>14</b>
<b>5.1</b>	<b>Sorgente primaria di contaminazione.....</b>	<b>14</b>
<b>5.1.1</b>	<i>Valutazione della genesi della contaminazione in area Micorosa.....</i>	<i>14</i>
<b>5.1.2</b>	<i>Meccanismi di trasporto della contaminazione.....</i>	<i>15</i>
<b>5.2</b>	<b>Sorgenti secondarie di contaminazione.....</b>	<b>19</b>
<b>5.3</b>	<b>Vie di migrazione.....</b>	<b>19</b>
<b>5.4</b>	<b>Recettori.....</b>	<b>20</b>
<b>5.5</b>	<b>Percorsi e modalità di esposizione.....</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>PARAMETRI DEL MODELLO.....</b>	<b>21</b>
<b>6.1</b>	<b>Equazioni del modello.....</b>	<b>21</b>
<b>6.2</b>	<b>Parametri di esposizione.....</b>	<b>21</b>
<b>6.3</b>	<b>Parametri del terreno insaturo.....</b>	<b>22</b>
<b>6.4</b>	<b>Parametri del terreno saturo.....</b>	<b>22</b>
<b>6.5</b>	<b>Parametri degli ambienti aperti.....</b>	<b>23</b>
<b>6.6</b>	<b>Concentrazioni rappresentative.....</b>	<b>24</b>
<b>6.7</b>	<b>Parametri geometrici delle sorgenti secondarie di contaminazione.....</b>	<b>26</b>
<b>6.8</b>	<b>Analisi della tossicità.....</b>	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>CALCOLO DELLE CONCENTRAZIONI SOGLIA DI RISCHIO (CSR).....</b>	<b>27</b>
<b>7.1</b>	<b>CSR per le acque sotterranee - Area E-G.....</b>	<b>27</b>
<b>7.2</b>	<b>CSR per le acque sotterranee - Area H.....</b>	<b>29</b>
<b>8</b>	<b>VERIFICA DEL RISCHIO POTENZIALE DA INALAZIONE VAPORI OUTDOOR.....</b>	<b>30</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>31</b>
<b>10</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>34</b>

### Tabelle

Tabella 1a	Contaminanti Potenzialmente Pericolosi per la Salute Umana (COPCs) - Terreno Insaturo Superficiale
Tabella 1b	Contaminanti Potenzialmente Pericolosi per la Salute Umana (COPCs) - Terreno Insaturo Profondo
Tabella 1c	Contaminanti Potenzialmente Pericolosi per la Salute Umana (COPCs) – Acque sotterranee
Tabella 2	Parametri chimico-fisici e tossicologici dei COPCs
Tabella 3	Verifica Rischio da CSR cumulate – Area E-G
Tabella 4	Verifica Rischio da CSR cumulate – Area H
Tabella 5a	Valori rilevati in aria ambiente – GP032 (settembre 2013)
Tabella 5b	Valori rilevati in aria ambiente – area H (agosto 2013)

### Figure

Figura 1	Localizzazione aree di interesse
Figura 2	Individuazione delle sorgenti nei terreni insaturi
Figura 3	Superamenti delle CSC nelle acque sotterranee
Figura 4	Modello Concettuale del Sito
Figura 5	Superamenti delle CSR nelle acque sotterranee

### Appendici

Appendice 1	Valori di soggiacenza misurati (2009-2012), input e output al software ProUCL
Appendice 2	Valori di foc e pH misurati (2009-2010), input e output al software ProUCL
Appendice 3	Concentrazioni rilevate nelle acque sotterranee (2011-2012), input e output al software ProUCL
Appendice 4	Nota sul calcolo della concentrazione in atmosfera a valle di aree di elevate dimensioni
Appendice 5	Verifica del rischio da inalazione vapori
Appendice 6	Certificati analisi GP032 – Settembre 2013
Appendice 7	Certificati analisi aria ambiente area H – Agosto 2013
Appendice 8	Run del Software RBCA 2.6 (CD-Rom)

1

INTRODUZIONE

Il presente documento, allegato al *Progetto operativo di messa in sicurezza permanente delle aree esterne allo stabilimento di Brindisi di proprietà Syndial S.p.A. (di seguito Aree Syndial)*, descrive la procedura e 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.

La presente di 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"* [1] redatto da ERM nel dicembre 2010, unicamente in relazione alla porzione delle cosiddette "aree esterne" syndial che ricadono entro il perimetro del confinamento fisico previsto del presente progetto di MISP 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 risposte alle osservazioni contenute nel parere tecnico di ISPRA sopraccitato:

- *la suddivisione in macroaree delle aree Syndial 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 accorpare 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 all'area oggetto dell'intervento previsto dal presente progetto di MISP e pertanto sarà oggetto di un'altra analisi di rischio specifica per le aree Syndial che non ricadono all'interno del perimetro del confinamento fisico.

- *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 2 e 3 di questo elaborato riportano i Poligoni di Thiessen centrati rispettivamente su tutti i sondaggi da cui sono stati prelevati campioni di terreno insaturo e su tutti 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 dell'intervento previsto dal presente progetto di MISP che permetterà l'interruzione di questo percorso unitamente 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 Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) dei metalli, nelle aree oggetto della presente analisi di rischio si rileva unicamente l'arsenico eccedente il valore di fondo naturale per il terreno profondo (>1m da p.c.), 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).

Infine, il sistema di confinamento fisico 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). Il database contenente tutte le misure di soggiacenza registrate e i calcoli del 95%LCL è fornito in Appendice 1.

- *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 per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati- APAT-ISS-ISPESL-ICRAM-ARPA"*, rev.2, marzo 2008 (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.

- *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.

- *Alla luce dei risultati ottenuti dall'Azienda che evidenziano, anche con ipotesi poco cautelative, rischi associati alle contaminazioni riscontrate nei terreni insaturi, saturi e nelle acque di falda si ritiene necessario che la stessa predisponga idonei interventi di mitigazione dei suddetti rischi. Si suggerisce in particolare di intervenire direttamente sulle fonti di contaminazione in particolare dei terreni saturi e delle acque di falda mediante interventi in-situ.*

Alla luce della contaminazione rilevata nelle aree in esame, syndial intende procedere alla messa in sicurezza permanente (MISP) delle aree in esame, con le modalità d'intervento riportate nel Capitolo 7 del *"Progetto operativo di messa in sicurezza permanente delle aree esterne – Stabilimento Multisocietario di Brindisi"*, a cui questa AdR è allegata.



**2.1 Ubicazione**

Le aree di interesse della presente analisi di rischio sono poste a sud del confine dello Stabilimento Multisocietario (cfr. Figura 1) e sono identificabili come le *Aree Syndial*, identificate con le sigle E, G e H, poste al di fuori dello Stabilimento di Brindisi e che ricadono entro il perimetro dell'area di intervento oggetto del presente progetto di MISP.

**2.2 Geologia locale**

Il presente paragrafo descrive il modello geologico locale, ricostruito in base all'analisi dei dati ottenuti nel corso delle campagne di indagini, condotte sulle aree in esame, tra il 2000 e il 2011. In particolare le colonne stratigrafiche disponibili, tratte dalla documentazione di riferimento hanno permesso di definire la successione stratigrafica locale.

In generale, l'area in esame ricade in un contesto costituito dalla seguente successione delle formazioni geologiche, dalle più antichi alle più recenti:

- 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.

Le caratteristiche stratigrafiche dei singoli orizzonti, a livello locale, sono di seguito descritte dall'alto verso il basso, e rappresentate nelle sezioni stratigrafiche interpretative.

La scala verticale indicata nelle sezioni è riferita alle quote sul livello del mare con lo scopo di rappresentare l'assetto geologico rispetto al reale andamento della superficie topografica. Di seguito gli spessori degli orizzonti stratigrafici sono riferiti al piano campagna.

- 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 m. Gli spessori maggiori si riscontrano nei settori nord-nord-est 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 e 8.5 m.

- Da profondità comprese tra circa 8 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 e 8.5 m (rilevati nei sondaggi più profondi).

- Da profondità comprese tra 25 e 28 m dal p.c. a fondo foro circa 30 m dal p.c. (massima profondità investigata):

argilla (A) costituita generalmente da: argilla a tratti sabbioso-limosa di colore grigio azzurro, la componente sabbiosa diminuisce verso il basso.

## 2.3 Idrogeologia locale

Le aree di interesse della presente relazione sono poste a sud del confine dello Stabilimento Multisocietario e sono identificabili come:

- area Micorosa, non di proprietà syndial;



- *Aree Syndial*, poste al di fuori della recinzione fiscale del Multisocietario di Brindisi ed identificate con le sigle E, G e H (delle prime due solo è di interesse la sola parte settentrionale).

La descrizione delle caratteristiche idrogeologiche dell'area è riportata nei documenti redatti in occasione della caratterizzazione delle *Aree Syndial*. Brevemente si ricorda che nell'area di studio sussistono due sistemi idrogeologici distinti e separati:

- il primo superficiale è caratterizzato da una falda freatica contenuta nei depositi marini terrazzati pleistocenici e sostenuta dalle argille plio-pleistoceniche; superficiale avente spessore medio di 20 m e permeabilità variabili tra circa  $1 \cdot 10^{-5}$  e  $5 \cdot 10^{-4}$  m/s. La falda è di tipo freatico, con condizioni di semiconfinamento nei settori dove sussiste la presenza di depositi continentali sovrastanti a bassa permeabilità.
- il secondo più profondo (non oggetto del presente studio) è rappresentato dai depositi carbonatici cretacei fessurati e carsificati, nonché dalle calcareniti e sabbie poste in continuità al di sopra delle rocce cretache.

I due acquiferi sono idraulicamente separati, almeno a livello locale, 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. e la cui permeabilità stimata essere pari a compresa tra  $10^{-10}$  e  $10^{-11}$  m/s.

Le indagini condotte tra il 2009 ed il 2010 nelle *Aree Syndial* confermano la successione stratigrafica descritta nel documento Aquater [6]. In base alle loro caratteristiche litostratigrafiche e di permeabilità, i terreni possono essere raggruppati, dall'alto verso il basso, in 5 gruppi principali:

- terreni e materiali di riporto (L), a permeabilità variabile ( $1 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-6}$  m/s), hanno uno spessore per lo più compreso tra 0 e 2.5 m, con spessori massimi pari a 4.5 e 6 m., non sono generalmente sede di falda acquifera;
- depositi continentali (L), a permeabilità da bassa a medio bassa che hanno uno spessore medio variabile generalmente tra 0.5 e 5 m; tali depositi sono stati rinvenuti in fase di perforazione sia al di sopra che al di sotto del livello di falda;
- depositi marini terrazzati (SC/C/S) a permeabilità medio-alta, sede dell'acquifero superficiale ed hanno spessori medi dell'ordine dei 12-18 m, nella zona interna allo Stabilimento, e dei 7-8 m nelle aree esterne. Tale livello, confrontando le descrizioni litologiche rinvenute in letteratura, sembra riferibile dal punto di vista stratigrafico alla parte sommitale della formazione di Gallipoli;
- depositi limosi basali (SL), a permeabilità medio bassa, che nella loro parte sommitale, dove la componente sabbiosa è maggiore, costituiscono la porzione basale dell'acquifero sebbene abbiano caratteristiche di permeabilità nettamente inferiori a quelle del livello sabbioso soprastante;

- depositi argillosi basali (A), a permeabilità bassissima che rinvergono alla base dei limi grigi di cui sopra, normalmente a profondità superiori ai 26 m.

Lo studio della morfologia della superficie freatica si è basato su 5 campagne piezometriche eseguite tra il Marzo 2010 e il Gennaio 2012. Nonostante le variazioni delle entità di ricarica osservate in tale lasso di tempo, le direzioni di flusso e i gradienti idraulici si sono mantenuti pressoché costanti [7].

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, e un orientamento delle linee isopiezometriche pressoché parallelo alla linea di costa in quasi tutte le aree esterne di proprietà 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 ‰ e si mantiene 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, assumendo ancora valori prossimi al 2 ‰.

La campagna piezometrica eseguita nell'area Micorosa a Marzo 2010, nell'ambito della caratterizzazione compiuta dal Comune di Brindisi, ha evidenziato in alcuni punti la presenza di consistenti alti piezometrici. Dal momento che non vi è stato alcun coordinamento topografico da parte del Comune di Brindisi, si è comunque preferito non rappresentare i dati piezometrici registrati all'interno dell'area Micorosa congiuntamente con i risultati delle campagne piezometriche eseguite nell'ambito delle indagini di approfondimento.

In ogni caso è possibile osservare che in PZ34 il carico idraulico è risultato superiore di circa 2 m rispetto ai punti limitrofi misurati nello stesso mese all'interno dello Stabilimento (PC10E); in PZ16 e in PZ03 sono stati rilevati anche più di 3 m di differenza rispetto ai piezometri più vicini ubicati nell'area H. L'importante gradiente esistente consente, dunque, di ipotizzare che vi sia un'esportazione di contaminazione dall'area Micorosa in direzione delle aree esterne E, G e H.

La presente analisi di rischio sito specifica è un'analisi condotta in modalità inversa (backward mode), fissando cioè il livello di rischio ritenuto accettabile per la salute del recettore esposto e calcolando la massima concentrazione della sorgente compatibile con la condizione di accettabilità del rischio.

L'analisi di rischio cronico e cancerogeno è stata elaborata calcolando le Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) per la salute umana dei recettori presenti attualmente nell'area in esame, relativamente ad una destinazione d'uso industriale della stessa.

Per quanto concerne il rischio ambientale per la falda, dal momento che si propone un intervento di confinamento fisico dell'area (cfr. capitolo 7 del *"Progetto operativo di messa in sicurezza permanente di parte delle Aree Syndial – Stabilimento di Brindisi"*), il percorso di migrazione delle acque verso il mare risulta interrotto; per tale ragione non sono stati individuati i punti di conformità per il sito oggetto della presente analisi di rischio.

L'analisi di rischio è stata condotta sulla base di quanto definito dall'Allegato 1 al Titolo V, Parte IV del D.Lgs. 152/06 e s.m.i., seguendo le linee guida riportate nel documento: *"Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati- APAT-ISS-ISPEL-ICRAM-ARPA"*, rev.2, marzo 2008, ed applicando metodologie internazionalmente riconosciute per la valutazione del rischio per la salute umana, derivante da situazioni di contaminazione di suoli. In particolare la valutazione è stata condotta in accordo con le linee guida ASTM.

In particolare, le fasi principali della procedura indicata, sono le seguenti:

- Identificazione delle sostanze potenzialmente critiche, COPCs (Contaminants of Potential Concerns);
- Definizione del Modello Concettuale del Sito (MCS), ed in dettaglio:
  - Sorgenti di contaminazione secondaria
  - Vie di migrazione
  - Recettori
  - Percorsi e modalità di esposizione;
- Valutazione dei parametri del MCS;
- Calcolo delle Concentrazioni Soglia di Rischio.

Il paragrafo seguente esplicita i passaggi della procedura effettuata al fine di determinare le CSR sito-specifiche a protezione della salute umana.

### **3.1 Calcolo delle CSR per la salute umana**

Poiché l'analisi di rischio è stata svolta in modalità backward, le CSR calcolate sono concentrazioni alle quali è associato un rischio cancerogeno per la singola sostanza pari a  $1 \times 10^{-6}$ , un rischio cancerogeno cumulato pari a  $1 \times 10^{-5}$  ed un indice di pericolo per la singola sostanza e cumulato pari ad 1.

Al fine di determinare le CSR sito-specifiche, è stato seguito l'approccio delineato dai "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio assoluta ai siti contaminati", rev.02, marzo 2008, che riportano: "l'applicazione dei criteri per il calcolo degli obiettivi di bonifica sito specifici (CSR) individuali, conduce alla individuazione di obiettivi di bonifica che rispettano certamente la condizione di rischio tollerabile per esposizione a singola sostanza. Le CSR individuali così calcolate non rispettano però necessariamente la condizione di rischio cumulativo tollerabile [sic]. In accordo alla procedura seguita dal software RBCA Tool Kit (versioni 1.2 e 2.0), in questi casi è necessario tenere conto degli effetti di cumulazione del rischio, riducendo ulteriormente le concentrazioni presenti rispetto ai valori definiti dalle CSR individuali. Tale riduzione dovrà garantire il raggiungimento di valori di concentrazione tali da rispettare la condizione di rischio cumulativo accettabile (Concentrazione Soglia di Rischio Cumulato). A giudizio degli Enti di Controllo, si potrà intervenire operando una riduzione delle concentrazioni di alcuni contaminanti, in funzione delle tipologie di esposizione, delle caratteristiche tossicologiche, di concentrazione e di distribuzione degli stessi, tenendo in considerazione la disponibilità e l'efficienza/efficacia delle tecnologie di bonifica applicabili al sito oggetto d'intervento. Tale riduzione, a giudizio degli Enti di Controllo e sulla base delle suddette indicazioni, potrà essere estesa a tutti i contaminanti presenti, adottando le seguenti equazioni:

$$CSR_{CUM} = CSR \times TR_{CUM} / TR_{TOT IND}$$

$$CSR_{CUM} = CSR \times HQ_{CUM} / HQ_{TOT IND}$$

Dove:

- CSR = Concentrazione soglia di rischio individuale del generico inquinante;
- $TR_{CUM}$  = Target risk per più sostanze ovvero il rischio individuale accettabile  $TR_{CUM} = 10^{-5}$
- $TR_{TOT IND}$  = Rischio cumulativo risultante dai contaminanti presenti nel sito in concentrazione pari alla CSR individuale.
- $HQ_{CUM}$  = Hazard quotient per esposizione a più sostanze ( $HQ_{CUM} = 1$ )
- $HQ_{TOT IND}$  = Rischio cumulativo risultante dai contaminanti presenti nel sito in concentrazione pari alla CSR individuale.

Pertanto, i valori di CSR finali corrispondono alle CSR individuali ridotte dei fattori:

$$TR_{CUM} / TR_{TOT IND} \text{ o } HQ_{CUM} / HQ_{TOT IND},$$

dove  $TR_{TOT IND}$  è il rischio cumulativo risultante dai contaminanti presenti nel sito in concentrazione pari alla CSR individuale e  $HQ_{CUM}$  è il rischio cumulativo risultante dai contaminanti presenti nel sito in concentrazione pari alla CSR individuale. Si sottolinea che utilizzando i valori delle CSR cumulative vengono rispettate le soglie di tollerabilità del rischio cumulato, che è successivamente verificato in modalità forward.

#### INDIVIDUAZIONE DELLE SOSTANZE POTENZIALMENTE CRITICHE (COPCS)

I contaminanti potenzialmente pericolosi per la salute umana (COPCs), così come delineato dalle metodologie internazionali, sono i contaminanti determinati in concentrazione superiore al limite di rilevabilità analitica e superiore agli standard definiti dalla legge, nella fattispecie, le CSC per terreni ad uso commerciale/industriale, riportate dal D.Lgs. 152/06 (Tabella 1/B, Allegato 5 al Titolo V, Parte IV, D.Lgs. 152/06) e le CSC per le acque sotterranee (Tabella 2, Allegato 5 al Titolo V, Parte IV, D.Lgs. 152/06). Per quanto attiene all'arsenico nei terreni profondi, 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.

In accordo con i Criteri Metodologici, al fine dell'identificazione dei COPCs per i suoli, sono state considerate le eccedenze delle CSC/fondo naturale rilevate nei terreni insaturi durante le campagne di caratterizzazione del 2009 e del 2010. Nel terreno insaturo sono stati rilevati unicamente due superamenti delle CSC nel terreno superficiale (0-1 m da p.c.) per il parametro cloruro di vinile in corrispondenza dei sondaggi HP006 e HP007 che sono ubicati nell'area che sarà coperta con capping.

Nel terreno saturo sono stati rilevati: arsenico in concentrazioni eccedenti il valore di fondo naturale stabilito per il terreno profondo (in due campioni in area G), cloruro di vinile in concentrazioni eccedenti la CSC (in 5 sondaggi ubicati nelle aree G e H), 1,1-dicloroetilene in concentrazioni eccedenti la CSC (in un campione prelevato in area H). Questi superamenti sono stati esclusi dalla valutazione dei rischi, in conformità con quanto previsto dai Criteri Metodologici.

Alla luce delle considerazioni sopra esposte l'unico COPC rilevato nei terreni insaturi delle aree in esame è il cloruro di vinile.

In accordo con i Criteri Metodologici, al fine dell'identificazione dei COPCs per le acque sotterranee, sono state considerate le eccedenze delle CSC rilevate durante le campagne di monitoraggio effettuate negli ultimi due anni (giugno-luglio 2011, novembre 2011 e marzo-aprile 2012) nelle aree E-G ed H esterne al capping previsto dal presente progetto. Per quanto riguarda il cloruro di vinile, il documento "*Indagini di approfondimento per la caratterizzazione delle Aree Syndial E, G, H*" Polimi, 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, i risultati della campagna di giugno-luglio 2011 relativamente al cloruro di vinile non sono stati considerati ai fini della presente analisi di rischio.

I COPCs individuati nelle acque sotterranee sottostanti le aree in esame sono i seguenti:

- 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

Le tabelle 1a, 1b, e 1c fuori testo riportano tutti i contaminanti ricercati nelle matrici suolo insaturo superficiale, suolo insaturo profondo e acque sotterranee, il numero di campioni analizzati e le concentrazioni massime e minime rilevate per ognuno di essi.



## **5 DEFINIZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE DEL SITO (MCS)**

### **5.1 Sorgente primaria di contaminazione**

#### **5.1.1 *Valutazione della genesi della contaminazione in area Micorosa***

Il complesso Petrolchimico di Brindisi venne esercito a partire dal 1961 dalla Società Montecatini, "per il trattamento di ton. 1.000.000 annue di petrolio grezzo al fine di ottenere principalmente distillati da impiegare nella produzione di olefine e di derivati chimici", come si legge nel testo del Decreto Interministeriale 2.9.1961 n. 5188 che ne rilascia la concessione.

Nel loro primo assetto, le produzioni comprendevano principalmente i composti di base derivati dal cracking e dalla distillazione del petrolio grezzo (Olefine ed Idrocarburi Aromatici), mentre l'unica linea di polimerizzazione (CVM-PVC) era insediata nell'area adiacente di pertinenza della società Polymer, sempre del gruppo Montecatini. In seguito alla fusione fra Montecatini e Edison (1966), il petrolchimico di Brindisi divenne di proprietà della società Montedison, che nel 1968 incorporò anche Polymer (ed i relativi impianti).

Nel quinquennio successivo furono progressivamente attivati processi produttivi di altre plastiche polimeriche e dei loro intermedi, come il Polietilene, il Polipropilene e, in tempi successivi, i polimeri Poliuretanic (MDI). Contestualmente, già a partire dalla fine degli anni '60, furono dismessi alcuni impianti.

In tale contesto, l'area Micorosa fu adibita, da parte delle società del gruppo Montedison (oggi Edison) che allora gestivano il petrolchimico, 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.

Dalla documentazione disponibile emerge che, nell'area Micorosa, sono stati 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 (cd. code clorate) vennero scaricate da Montedison nell'area Micorosa negli anni 1969-75, per un volume stimato pari a 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 di cui sopra.

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 qualitative 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, 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.

Da documentazione interna dello stabilimento, risulta che nel 1973 erano stati installati serbatoi di stoccaggio delle code clorurate; si deve, pertanto, ritenere che, a partire da tale data o negli anni immediatamente successivi, le code clorurate stoccate nei serbatoi siano state inviate all'impianto di incenerimento di Porto Marghera (denominato CS28, la cui prima linea risulta operativa a partire dal 1972).

Di conseguenza, 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).

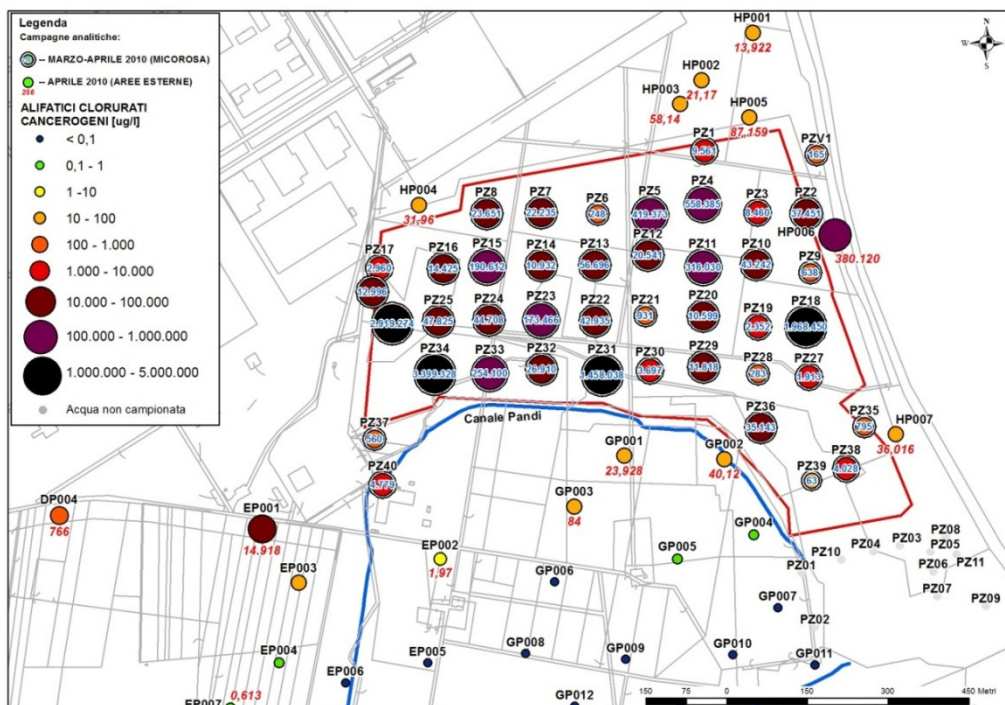
Sempre dalla documentazione disponibile risulta, infine, che a partire dal 1972/1973 nell'area Micorosa vennero convogliate le acque di lavaggio acide provenienti dall'impianto per la produzione di Anidride ftalica per ossidazione catalitica dell'orto-xilene (denominato P26), avviato nel 1972 ed attivo 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.

### 5.1.2 *Meccanismi di trasporto della contaminazione*

I risultati delle indagini di caratterizzazione hanno evidenziato la pressoché totale assenza di contaminazioni dei terreni nelle aree H, E e G di proprietà syndial diversamente, numerosi superamenti delle CSC (frequentemente di alcuni ordini di grandezza) sono stati riscontrati nell'Area Micorosa, 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 (Fig. 1) 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.



**Fig. 1 : concentrazioni rilevate in falda nel 2010 all'interno dell'Area Micorosa e nelle Aree Syndial**

Le campagne piezometriche condotte tra il Marzo 2010 e il Gennaio 2012, nelle *Aree Syndial* confinanti con Micorosa hanno confermato le medesime direzioni di deflusso principali e morfologie piezometriche molto simili tra loro. In particolare hanno permesso di accertare:

- l'esistenza di un deflusso delle acque di falda fuoriuscente dagli confini nord ed est dell'area Micorosa verso l'Area H;
- l'influenza sull'Area G da parte delle acque di scolo contaminate fuoriuscenti da Micorosa e recapitate nel C.le Pandi il cui alveo è confinato con la discarica [9];

- 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 Esterne abbiano origine dalle elevatissime contaminazioni presenti nei materiali stoccati nell'area di Micorosa ed al loro trasporto, verso le aree esterne, legato al deflusso radiale delle acque di falda. Date le direzioni di flusso di 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 nell'area in studio 3 zone principali (fig. 4.4.2): (Zona HP006-HP007, Zona H e Zona nord aree E-G), con le seguenti caratteristiche:

- La Zona HP006-HP007 – fascia di terreno compresa tra il confine est di Micorosa e il mare. L'area è indiscutibilmente sottogradiante 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 e 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 e 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, qui vi ricade il piezometro EP001 dove 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 moderate la cui sommatoria risulta inferiore ai 60 µg/l.

- 
- The map displays the MICOROSA area with several distinct zones and monitoring points. The zones are color-coded: AREA D (blue), AREA E (light blue), AREA F (orange), AREA G (pink), AREA H (green), and OASI PROTETTA (light green). The MICOROSA area itself is highlighted in yellow. The map includes numerous monitoring points marked with symbols: blue squares for Pozzi Barriera (e.g., BAR27, BAR28, BAR29, BAR32), yellow circles for Piezometri Nuovi (e.g., PZ008, PZ009, PZ010, PZ011, PZ012, PZ013, PZ014, PZ015, PZ016, PZ017, PZ018, PZ019, PZ020, PZ021, PZ022, PZ023, PZ024, PZ025, PZ026, PZ027, PZ028, PZ029, PZ030, PZ031, PZ032, PZ033, PZ034, PZ035, PZ036, PZ037, PZ038, PZ039, PZ040, PZ041, PZ042, PZ043, PZ044, PZ045, PZ046, PZ047, PZ048, PZ049, PZ050, PZ051, PZ052, PZ053, PZ054, PZ055, PZ056, PZ057, PZ058, PZ059, PZ060, PZ061, PZ062, PZ063, PZ064, PZ065, PZ066, PZ067, PZ068, PZ069, PZ070, PZ071, PZ072, PZ073, PZ074, PZ075, PZ076, PZ077, PZ078, PZ079, PZ080, PZ081, PZ082, PZ083, PZ084, PZ085, PZ086, PZ087, PZ088, PZ089, PZ090, PZ091, PZ092, PZ093, PZ094, PZ095, PZ096, PZ097, PZ098, PZ099, PZ100, PZ101, PZ102, PZ103, PZ104, PZ105, PZ106, PZ107, PZ108, PZ109, PZ110, PZ111, PZ112, PZ113, PZ114, PZ115, PZ116, PZ117, PZ118, PZ119, PZ120, PZ121, PZ122, PZ123, PZ124, PZ125, PZ126, PZ127, PZ128, PZ129, PZ130, PZ131, PZ132, PZ133, PZ134, PZ135, PZ136, PZ137, PZ138, PZ139, PZ140, PZ141, PZ142, PZ143, PZ144, PZ145, PZ146, PZ147, PZ148, PZ149, PZ150, PZ151, PZ152, PZ153, PZ154, PZ155, PZ156, PZ157, PZ158, PZ159, PZ160, PZ161, PZ162, PZ163, PZ164, PZ165, PZ166, PZ167, PZ168, PZ169, PZ170, PZ171, PZ172, PZ173, PZ174, PZ175, PZ176, PZ177, PZ178, PZ179, PZ180, PZ181, PZ182, PZ183, PZ184, PZ185, PZ186, PZ187, PZ188, PZ189, PZ190, PZ191, PZ192, PZ193, PZ194, PZ195, PZ196, PZ197, PZ198, PZ199, PZ200, PZ201, PZ202, PZ203, PZ204, PZ205, PZ206, PZ207, PZ208, PZ209, PZ210, PZ211, PZ212, PZ213, PZ214, PZ215, PZ216, PZ217, PZ218, PZ219, PZ220, PZ221, PZ222, PZ223, PZ224, PZ225, PZ226, PZ227, PZ228, PZ229, PZ230, PZ231, PZ232, PZ233, PZ234, PZ235, PZ236, PZ237, PZ238, PZ239, PZ240, PZ241, PZ242, PZ243, PZ244, PZ245, PZ246, PZ247, PZ248, PZ249, PZ250, PZ251, PZ252, PZ253, PZ254, PZ255, PZ256, PZ257, PZ258, PZ259, PZ260, PZ261, PZ262, PZ263, PZ264, PZ265, PZ266, PZ267, PZ268, PZ269, PZ270, PZ271, PZ272, PZ273, PZ274, PZ275, PZ276, PZ277, PZ278, PZ279, PZ280, PZ281, PZ282, PZ283, PZ284, PZ285, PZ286, PZ287, PZ288, PZ289, PZ290, PZ291, PZ292, PZ293, PZ294, PZ295, PZ296, PZ297, PZ298, PZ299, PZ300, PZ301, PZ302, PZ303, PZ304, PZ305, PZ306, PZ307, PZ308, PZ309, PZ310, PZ311, PZ312, PZ313, PZ314, PZ315, PZ316, PZ317, PZ318, PZ319, PZ320, PZ321, PZ322, PZ323, PZ324, PZ325, PZ326, PZ327, PZ328, PZ329, PZ330, PZ331, PZ332, PZ333, PZ334, PZ335, PZ336, PZ337, PZ338, PZ339, PZ340, PZ341, PZ342, PZ343, PZ344, PZ345, PZ346, PZ347, PZ348, PZ349, PZ350, PZ351, PZ352, PZ353, PZ354, PZ355, PZ356, PZ357, PZ358, PZ359, PZ360, PZ361, PZ362, PZ363, PZ364, PZ365, PZ366, PZ367, PZ368, PZ369, PZ370, PZ371, PZ372, PZ373, PZ374, PZ375, PZ376, PZ377, PZ378, PZ379, PZ380, PZ381, PZ382, PZ383, PZ384, PZ385, PZ386, PZ387, PZ388, PZ389, PZ390, PZ391, PZ392, PZ393, PZ394, PZ395, PZ396, PZ397, PZ398, PZ399, PZ400, PZ401, PZ402, PZ403, PZ404, PZ405, PZ406, PZ407, PZ408, PZ409, PZ410, PZ411, PZ412, PZ413, PZ414, PZ415, PZ416, PZ417, PZ418, PZ419, PZ420, PZ421, PZ422, PZ423, PZ424, PZ425, PZ426, PZ427, PZ428, PZ429, PZ430, PZ431, PZ432, PZ433, PZ434, PZ435, PZ436, PZ437, PZ438, PZ439, PZ440, PZ441, PZ442, PZ443, PZ444, PZ445, PZ446, PZ447, PZ448, PZ449, PZ450, PZ451, PZ452, PZ453, PZ454, PZ455, PZ456, PZ457, PZ458, PZ459, PZ460, PZ461, PZ462, PZ463, PZ464, PZ465, PZ466, PZ467, PZ468, PZ469, PZ470, PZ471, PZ472, PZ473, PZ474, PZ475, PZ476, PZ477, PZ478, PZ479, PZ480, PZ481, PZ482, PZ483, PZ484, PZ485, PZ486, PZ487, PZ488, PZ489, PZ490, PZ491, PZ492, PZ493, PZ494, PZ495, PZ496, PZ497, PZ498, PZ499, PZ500, PZ501, PZ502, PZ503, PZ504, PZ505, PZ506, PZ507, PZ508, PZ509, PZ510, PZ511, PZ512, PZ513, PZ514, PZ515, PZ516, PZ517, PZ518, PZ519, PZ520, PZ521, PZ522, PZ523, PZ524, PZ525, PZ526, PZ527, PZ528, PZ529, PZ530, PZ531, PZ532, PZ533, PZ534, PZ535, PZ536, PZ537, PZ538, PZ539, PZ540, PZ541, PZ542, PZ543, PZ544, PZ545, PZ546, PZ547, PZ548, PZ549, PZ550, PZ551, PZ552, PZ553, PZ554, PZ555, PZ556, PZ557, PZ558, PZ559, PZ560, PZ561, PZ562, PZ563, PZ564, PZ565, PZ566, PZ567, PZ568, PZ569, PZ570, PZ571, PZ572, PZ573, PZ574, PZ575, PZ576, PZ577, PZ578, PZ579, PZ580, PZ581, PZ582, PZ583, PZ584, PZ585, PZ586, PZ587, PZ588, PZ589, PZ590, PZ591, PZ592, PZ593, PZ594, PZ595, PZ596, PZ597, PZ598, PZ599, PZ600, PZ601, PZ602, PZ603, PZ604, PZ605, PZ606, PZ607, PZ608, PZ609, PZ610, PZ611, PZ612, PZ613, PZ614, PZ615, PZ616, PZ617, PZ618, PZ619, PZ620, PZ621, PZ622, PZ623, PZ624, PZ625, PZ626, PZ627, PZ628, PZ629, PZ630, PZ631, PZ632, PZ633, PZ634, PZ635, PZ636, PZ637, PZ638, PZ639, PZ640, PZ641, PZ642, PZ643, PZ644, PZ645, PZ646, PZ647, PZ648, PZ649, PZ650, PZ651, PZ652, PZ653, PZ654, PZ655, PZ656, PZ657, PZ658, PZ659, PZ660, PZ661, PZ662, PZ663, PZ664, PZ665, PZ666, PZ

**Figura 2: Identificazione delle aree oggetto di caratterizzazione**



## 5.2 Sorgenti secondarie di contaminazione

Le sorgenti secondarie di contaminazione a cui è applicata la presente procedura di analisi di rischio sono i terreni e le acque sotterranee interessate dalla presenza di composti in concentrazioni superiori alle CSC.

Per la delimitazione areale delle sorgenti secondarie nei terreni e nelle acque è stata seguita la procedura indicata dai Criteri Metodologici APAT che prevede:

- una suddivisione in poligoni d'influenza dell'area in oggetto sulla base di poligoni di Thiessen o di celle a maglia regolare;
- la determinazione della continuità spaziale delle sorgenti;
- l'analisi del vicinato dei poligoni/celle con concentrazione minore delle CSC ( $C < CSC$ ).

Sulla base dei criteri sopra definiti e delle aree di intervento previste dal *“Progetto operativo di messa in sicurezza permanente di parte delle Aree 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 (cfr. Figura 2);
- 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 progetto (cfr. Figura 3). Entrambe queste sorgenti sono caratterizzate dalla presenza dei medesimi COPCs (arsenico, idrocarburi aromatici, composti alifatici clorurati cancerogeni e non cancerogeni, clorobenzeni), fatta eccezione per etilbenzene, stirene, diclorometano e idrocarburi totali rilevati unicamente nella sorgente individuata in area E-G.

## 5.3 Vie di migrazione

Di seguito sono analizzati i potenziali percorsi di migrazione della contaminazione rilevata nelle aree oggetto alla presente analisi di rischio.

- emissione di particolato da suolo superficiale (SS): è un processo secondo il quale avviene il sollevamento di polveri dal suolo superficiale contaminato, a seguito di fenomeni di erosione, il rimescolamento e la conseguente diluizione di queste polveri con l'aria della zona sovrastante la sorgente di contaminazione; tale percorso risulta interrotto dalla presenza del capping 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 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 in corrispondenza delle due sorgenti esterne al capping;
- lisciviazione dal terreno alle acque di falda e migrazione orizzontale della contaminazione dissolta in falda: i percorsi risultano interrotti dall'intervento di confinamento fisico previsto sull'area in esame.



#### **5.4 Recettori**

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 a carattere 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.

#### **5.5 Percorsi e modalità di esposizione**

Si definiscono percorsi di esposizione i meccanismi attraverso i quali le sorgenti e i recettori entrano in contatto. Tali percorsi di esposizione per poter essere considerati ai fini dell'applicazione dell'analisi di rischio devono essere completi. Un percorso di esposizione si considera completo nel caso in cui esiste contemporaneamente:

- una sorgente di contaminazione;
- un meccanismo di rilascio della sorgente ad un comparto ambientale;
- un meccanismo di contatto diretto con il contaminante o un meccanismo di trasporto al punto di esposizione;
- una modalità di esposizione attraverso cui il contaminante entra in contatto con il recettore.

Il calcolo delle CSR viene effettuato unicamente laddove sussistono vie d'esposizione complete. Le vie d'esposizione a cui sono esposti potenzialmente i recettori identificati si basano sulle seguenti assunzioni:

**Lavoratori on-site.** L'unico percorso d'esposizione completo cui questi recettori occasionali sono potenzialmente esposti è rappresentato dall'inalazione di vapori outdoor dalle acque sotterranee. I percorsi di ingestione, contatto dermico e inalazione di particolato dal suolo superficiale non risultano attivi a causa della presenza del capping al di sopra delle aree impattate da cloruro di vinile ubicate in corrispondenza dei sondaggi HP006 e HP007. Il percorso di ingestione di acqua non risulta attivo poiché non sono presenti pozzi ad uso idropotabile all'interno dell'area in esame.

**Lavoratori off-site.** I lavoratori dello stabilimento multisocietario che operano nelle adiacenze delle aree in esame, sono esposti unicamente attraverso l'inalazione di vapori outdoor dalle acque sotterranee. Il percorso di inalazione di particolato dal suolo superficiale non risulta attivo a causa della presenza del capping.

In Figura 4 è rappresentato in dettaglio il modello concettuale del sito.

## 6 PARAMETRI DEL MODELLO

I parametri utilizzati nella procedura di analisi di rischio per la determinazione delle concentrazioni soglia di rischio (CSR) coincidono con i parametri riportati all'interno del documento *"Analisi di rischio ex D.Lgs. 152/06 e s.m.i. - Aree esterne al sito Multisocietario di Brindisi"* e sono stati determinati attraverso misure sito-specifiche. In assenza di queste, sono stati utilizzati i dati di letteratura definiti dai *"Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati"*, rev.2, APAT, 2008.

Fanno eccezione i parametri:

- soggiacenza della falda, aggiornato alla luce dell'osservazioni formulate da ISPRA all'interno del parere tecnico IS/SUO 2012/233 ed anche sulla base delle nuove campagne freaticometriche effettuate tra il 2010 ed il 2012;
- frazione di carbonio organico, pH e lunghezza delle sorgenti in direzione del vento, aggiornati alla luce della nuova delimitazione delle sorgenti.

### 6.1 Equazioni del modello

Le equazioni utilizzate per la stima dell'entità dei fenomeni di volatilizzazione di vapori dalle acque sotterranee sono conformi a quanto indicato nei Criteri Metodologici APAT.

Poiché le aree sorgenti risultano di elevate dimensioni (cfr. paragrafo 6.7), è stato utilizzato il *"box model equivalente"* determinato in base al modello di Gauss e descritto in Appendice 4.

### 6.2 Parametri di esposizione

I lavoratori occasionali dell'area sono presenti in maniera sporadica all'interno delle aree in esame; tuttavia, poiché i lavoratori dello stabilimento sono ubicati a distanza nulla dall'area in esame, cautelativamente, e ai fini del calcolo delle CSR, sono stati utilizzati i parametri di esposizione di default riportati nel documento *"Criteri Metodologici per l'Applicazione dell'Analisi di Rischio ai Siti Contaminati"*, rev.2, APAT, Marzo 2008 per i recettori industriali.

**Tabella 6.2-1 Fattori di esposizione**

Parametro	Unità di Misura	Lavoratori
Peso corporeo	Kg	70
Tempo medio di esposizione per le sostanze cancerogene	anni	70
Tempo medio di esposizione per le sostanze non cancerogene	anni	25
Durata di esposizione	anni	25
Frequenza di esposizione outdoor	giorni/anno	250
Frequenza giornaliera di esposizione outdoor/indoor	ore/giorno	8

### 6.3 Parametri del terreno insaturo

La tessitura del terreno è stata determinata attraverso misure sito specifiche (cfr. “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).

In Tabella 6.3-1 si riportano tutti i parametri caratteristici del suolo insaturo inseriti nel software RBCA v.2.6.

**Tabella 6.3-1 Parametri del suolo insaturo**

Parametro	Unità di Misura	Area E-G	Area H	Riferimento
Porosità totale del terreno	-	0,39		Criteri metodologici APAT per <i>Sandy clay loam</i>
Contenuto volumetrico d'acqua del terreno	-	0,278		Criteri metodologici APAT per <i>Sandy clay loam</i> (somma del contenuto volumetrico d'acqua mobile e residuo)
Contenuto volumetrico d'aria nella frangia capillare	-	0,042		Criteri metodologici APAT per <i>Sandy clay loam</i>
Spessore della frangia capillare	cm	25,9		Criteri metodologici APAT per <i>Sandy clay loam</i>
Densità del suolo	g/cm <sup>3</sup>	1,7		Criteri metodologici APAT
Frazione di carbonio organico del suolo	g-C/g-suolo	0,00437	0,00231	<b>Sito specifico:</b> 95%LCL dei dati disponibili per il suolo insaturo (Cfr. Appendice 2)
Conducibilità idraulica a saturazione	cm/s	3,64x10 <sup>-4</sup>		Criteri metodologici APAT per <i>Sandy clay loam</i>
Permeabilità del suolo al flusso di vapori	cm <sup>2</sup>	1E-8		Criteri metodologici APAT per “limi”
pH	-	7,858	8,2	<b>Sito specifico:</b> 95%UCL dei dati disponibili per il suolo insaturo (Cfr. Appendice 2)

### 6.4 Parametri del terreno saturo

Il valore di soggiacenza della falda è stato aggiornato e calcolato sulla base di tutti i dati dei rilievi freaticometrici effettuati tra il 2009 e il 2012. Il database contenente tutte le misure di soggiacenza registrate è fornito in Appendice 1.

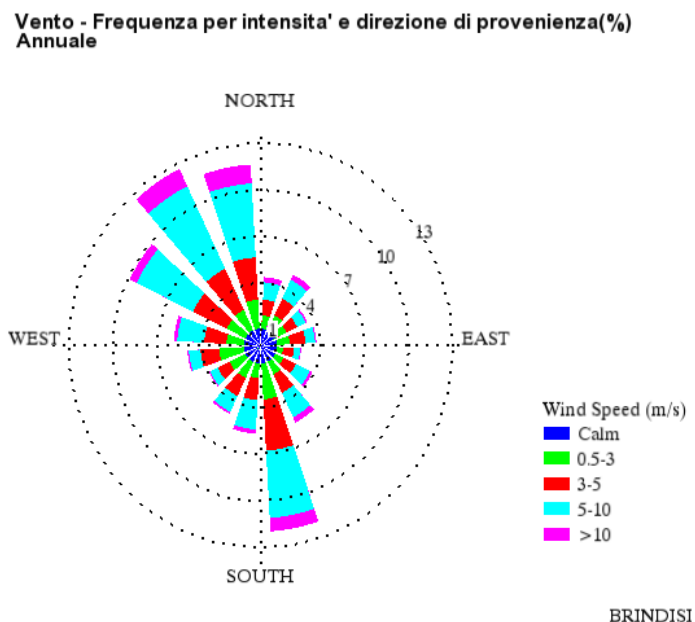
**Tabella 6.4-1 Parametri del suolo saturo**

Parametro	Unità di Misura	Area E-G	Area H	Riferimento
Soggiacenza	m	1,343	2,071	<b>Sito specifico:</b> 95%LCL dati 2009-2012 (Cfr. Appendice 1)

## 6.5 Parametri degli ambienti aperti

L'analisi dei dati ambientali di direzione e velocità del vento è stata effettuata considerando i dati forniti dal sito internet SCIA per la stazione di Brindisi.

Sulla base della rosa dei venti elaborata per la stazione di misura ubicata a Brindisi, si ricava che la direzione principale di provenienza del vento è Nord-NordOvest, come si evince dalla figura seguente.



L'altezza della zona di miscelazione è stata calcolata secondo il "box model equivalente" (cfr. Appendice 4), e, in base alla dimensione delle sorgenti, è pari a 6,3 m per l'area E-G e a 5,2 m per l'area H.

Per quanto concerne l'intensità del vento, la velocità è stata calcolata come riportato nel documento *"Analisi di rischio ex D.Lgs. 152/06 e s.m.i. - Aree esterne al sito Multisocietario di Brindisi"*, a partire dal 95%LCL dei dati misurati nella stazione di Brindisi (altezza 15 m) nel periodo 1951 - 2008, pari a 4,066 m/sec.

Al fine del calcolo della velocità media a 6,3 e a 5,2 m dal suolo è stata considerata una classe di stabilità "D". La rugosità del suolo scelta corrisponde a quella di tipo rurale. Il calcolo è stato effettuato utilizzando la formula empirica di S.R. Hanna et. Al., 1982,

$$\frac{U_{air}(z_1)}{U_{air}(z_2)} = \left(\frac{z_1}{z_2}\right)^p$$

con  $p = 0,15$

e dove:

$z_1 = 15 \text{ m}$ ;  $z_2 = 6,3 \text{ o } 5,2 \text{ m}$

$U_{air}(z_1)$  = velocità del vento a 15 m di altezza

Uair (z) = velocità del vento a 6,3 o 5,2 m di altezza

La Tabella 6.5-1 riporta tutti i parametri caratteristici degli ambienti aperti utilizzati all'interno del modello di calcolo.

**Tabella 6.5-1 Parametri caratteristici degli ambienti aperti**

Parametro	Unità di Misura	Area E-G	Area H	Riferimento
Direzione prevalente del vento	-	NNO-SSE		<b>Dato sito specifico:</b> rosa dei venti per la stazione di Brindisi
Altezza di miscelazione in aria	m	6,3	5,2	<b>Dato sito specifico:</b> calcolata secondo le indicazioni fornite in Appendice 4 in base alla dimensione delle sorgenti.
Velocità del vento	m/s	3,56	3,47	<b>Dato sito specifico:</b> calcolato secondo la formula empirica di S.R. Hanna et. Al., 1982 a 6,3 m di altezza in area E-G e a 5,2 m in area H

## 6.6 Concentrazioni rappresentative

La metodologia utilizzata per la scelta della concentrazione rappresentativa alla sorgente (Crapp) segue le indicazioni riportate nel documento "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati", APAT, rev. 02, Marzo 2008.

In particolare, in accordo con quanto definito dai Criteri Metodologici, poiché nell'area sorgente E-G è presente un numero di punti d'indagine superiore a 10, la concentrazione rappresentativa è stata calcolata come 95%UCL delle concentrazioni rilevate. Per questa sorgente i dati relativi alla campagna di novembre 2011 non sono stati utilizzati per il calcolo del 95%UCL in quanto è stato analizzato un set di piezometri ridotto.

Per l'area sorgente H, in cui è presente un numero di punti d'indagine inferiore a 10, la concentrazione rappresentativa coincide con la concentrazione massima del singolo contaminante, rilevata nelle campagne di giugno-luglio 2011, novembre 2011 e marzo-aprile 2012.

Per quanto riguarda il cloruro di vinile, il documento "Indagini di approfondimento per la caratterizzazione delle Aree Syndial E, G, H" Polimi, 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, per il cloruro di vinile i risultati della campagna di giugno-luglio 2011 non sono stati considerati.

In Appendice 3 è presente il database delle concentrazioni rilevate nelle acque sotterranee nelle tre campagne succitate, i dati di input e l'output del software ProUCL utilizzato per il calcolo del 95%UCL.

Si ricorda che l'arsenico è un composto non volatile rilevato in concentrazioni eccedenti la CSC e che il percorso di inalazione di vapori non risulta attivo per tale sostanza. Pertanto, la concentrazione rappresentativa per l'arsenico non è stata valutata.

Le successive tabelle riportano le Crapp dei COPCs identificati nelle acque delle sorgenti individuate.

**Tabella 6.6-1 Concentrazioni rappresentative per l'area E-G**

COPCS	CSC	Concentrazione rappresentativa (µg/l)	Statistica applicata
Benzene	1	495,6	95% Hall's Bootstrap UCL
Etilbenzene	50	277,5	99% Chebyshev (Mean, Sd) UCL
Stirene	25	21,13	99% Chebyshev (Mean, Sd) UCL
Toluene	15	619,4	99% Chebyshev (Mean, Sd) UCL
o-Xilene	10	129	99% Chebyshev (Mean, Sd) UCL
m,p-Xilene	20	372,1	99% Chebyshev (Mean, Sd) UCL
Triclorometano (cloroformio)	0,15	7263	95% Hall's Bootstrap UCL
Cloruro di vinile	0,5	3972	99% Chebyshev (Mean, Sd) UCL*
1,2-Dicloroetano	3	978,6	99% Chebyshev (Mean, Sd) UCL
1,1-Dicloroetilene	0,05	6962	99% Chebyshev (MVUE) UCL
Tricloroetilene	1,5	1951	99% Chebyshev (MVUE) UCL
Tetracloroetilene (PCE)	1,1	914,6	99% Chebyshev (MVUE) UCL
Esaclorobutadiene	0,15	1,436	99% Chebyshev (Mean, Sd) UCL
1,1-Dicloroetano	810	2193	95% Hall's Bootstrap UCL
1,2-dicloroetilene	60	2866	Valore massimo
1,2-Dicloropropano	0,15	7,245	97.5% Chebyshev (MVUE) UCL
1,1,2-Tricloroetano	0,2	2431	99% Chebyshev (Mean, Sd) UCL
1,2,3-Tricloropropano	0,001	0,503	99% Chebyshev (Mean, Sd) UCL
1,1,2,2-Tetracloroetano	0,05	0,565	99% Chebyshev (Mean, Sd) UCL
Diclorometano	0,15 (ISS)	726,4	97.5% Chebyshev (Mean, Sd) UCL
Monoclorobenzene	40	679,8	95% Hall's Bootstrap UCL
1,4-Diclorobenzene	0,5	2,502	95% Hall's Bootstrap UCL
Idrocarburi Totali	350	319,5	99% Chebyshev (Mean, Sd) UCL

\* Esclusi dati giugno-luglio 2011

**Tabella 6.6-2 Concentrazioni rappresentative per l'area H**

COPCS	CSC	Concentrazione rappresentativa (µg/l)	Statistica applicata
Benzene	1	1266	Valore massimo
Toluene	15	62,9	Valore massimo
o-Xilene	10	41,4	Valore massimo
m,p-Xilene	20	25,7	Valore massimo
Triclorometano (cloroformio)	0,15	317	Valore massimo
Cloruro di vinile	0,5	726	Valore massimo*
1,2-Dicloroetano	3	75,6	Valore massimo
1,1-Dicloroetilene	0,05	65,6	Valore massimo
Tricloroetilene	1,5	51,2	Valore massimo



COPCS	CSC	Concentrazione rappresentativa (µg/l)	Statistica applicata
Tetracloroetilene (PCE)	1,1	33,3	Valore massimo
Esaclorobutadiene	0,15	0,24	Valore massimo
1,1-Dicloroetano	810	1031	Valore massimo
1,2-dicloroetilene	60	178	Valore massimo
1,2-Dicloropropano	0,15	1,5	Valore massimo
1,1,2-Tricloroetano	0,2	66,3	Valore massimo
1,2,3-Tricloropropano	0,001	0,41	Valore massimo
1,1,2,2-Tetracloroetano	0,05	0,85	Valore massimo
Monoclorobenzene	40	15647	Valore massimo
1,4-Diclorobenzene	0,5	29,2	Valore massimo

\* Esclusi dati giugno-luglio 2011

## 6.7 Parametri geometrici delle sorgenti secondarie di contaminazione

Di seguito si elencano i parametri geometrici delle due sorgenti individuate nelle acque sotterranee, denominate E-G e H (cfr. figura 3).

**Tabella 6.7-1 Parametri geometrici della sorgente – Acque sotterranee**

Parametro	Unità di Misura	Area E-G	Area H	Riferimento
Lunghezza della sorgente in direzione prevalente del vento	m	410	325	<b>Dato sito specifico:</b> massima estensione delle aree sorgenti individuate lungo la direzione prevalente del vento (NNO-SSE)

## 6.8 Analisi della tossicità

Le proprietà chimico-fisiche e tossicologiche assunte per tutti i COPCs rilevati in sito corrispondono ai parametri riportati nella banca dati messa a punto dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS) e dall'Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL ex ISPESL) e dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA ex APAT), revisione del 2009.

Ai fini del calcolo delle CSR, poiché l'unico percorso attivo risulta l'inalazione vapori, gli idrocarburi presenti nelle acque sotterranee sono stati considerati cautelativamente come alifatici C9-C18. I parametri chimico-fisici e tossicologici di tutti i COPCs utilizzati in input all'analisi di rischio sono riportati nella tabella 2 riportata a fine testo.

7

**CALCOLO DELLE CONCENTRAZIONI SOGLIA DI RISCHIO (CSR)**

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).

In base a quanto indicato nel capitolo 5 le CSR sono state calcolate solo per le sostanze organiche volatili rilevate nelle due sorgenti individuate nelle acque sotterranee.

In Appendice 8 sono riportati i run del software RBCA 2.6.

**7.1 CSR per le acque sotterranee - Area E-G**

Le CSR per le acque sotterranee sono state determinate in modalità backward, a tutela della salute umana dei recettori presenti, considerando attivo il percorso di inalazione di vapori outdoor per i lavoratori.

Secondo la procedura descritta al capitolo 3.1, sono state dapprima determinate le CSR per singola sostanza, esposizione e recettore, tali da mantenere la soglia di tollerabilità del rischio individuale cancerogeno e tossico. Le CSR singole sono state quindi ridotte ai fini della verifica del rischio cumulato.

Le CSR singole e cumulate calcolate per i COPCs individuati nell'area E-G sono riportate nella Tabella 7.1-1 seguente. La verifica dell'accettabilità del rischio a partire da tali CSR è riportata in tabella 3 a fine testo.

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 valutata.

**Tabella 7.1-1 CSR– Acque sotterranee area E-G**

COPCs	Crapp (mg/l)	CSR singole (mg/l)	CSR cumulate (mg/l)
		Inalazione di vapori outdoor	
		Lavoratori	
Benzene	5,0E-1	1,7E+1	<b>1,3E+1</b>
Etilbenzene	2,8E-1	>1.7E+2	<b>1,7E+2</b>
Stirene	2,1E-2	>3.1E+2	<b>3,1E+2</b>
Toluene	6,2E-1	>5.3E+2	<b>5,3E+2</b>
o-Xilene	1,3E-1	>1.8E+2	<b>1,8E+2</b>
m,p-Xilene	3,7E-1	>1.9E+2	<b>1,9E+2</b>
<b>Triclorometano (cloroformio)</b>	7,3E+0	6,9E+0	<b>6,9E+0</b>
<b>Cloruro di vinile</b>	6,4E+1	3,8E+0	<b>3,8E+0</b>
1,2-Dicloroetano	9,8E-1	1,3E+1	<b>9,6E+0</b>
<b>1,1-Dicloroetilene</b>	7,0E+0	7,4E-1	<b>7,4E-1</b>

COPCs	Crapp (mg/l)	CSR singole (mg/l)	CSR cumulate (mg/l)
		Inalazione di vapori outdoor	
		Lavoratori	
Tricloroetilene	2,0E+0	5,5E+1	4,0E+1
Tetracloroetilene (PCE)	9,1E-1	1,1E+1	8,0E+0
Esaclorobutadiene	1,4E-3	>3.2E+0	3,2E+0
1,1-Dicloroetano	2,2E+0	>5.1E+3	5,1E+3
1,2-dicloroetilene	2,9E+0	1,2E+3	1,8E+2
1,2-Dicloropropano	7,2E-3	1,2E+1	8,9E+0
1,1,2-Tricloroetano	2,4E+0	2,7E+1	2,0E+1
1,2,3-Tricloropropano	5,0E-4	3,8E-1	2,8E-1
1,1,2,2-Tetracloroetano	5,7E-4	1,4E+1	1,0E+1
Diclorometano	7,3E-1	4,3E+2	1,0E+1
Monoclorobenzene	6,8E-1	>4.7E+2	4,7E+2
1,4-Diclorobenzene	2,5E-3	4,6E+1	3,3E+1
Idrocarburi Totali	3,2E-1	>1.0E-2	8,3E+0

Dal confronto tra le concentrazioni rappresentative e le CSR calcolate per le acque sotterranee sottostanti le aree E-G, si evince che i composti Triclorometano, Cloruro di vinile e 1,1-Dicloroetilene sono presenti nelle acque in concentrazioni superiori alle CSR.

Per questi tre composti si riporta nella tabella sottostante il confronto tra le concentrazioni 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 del marzo/aprile 2012 sono stati rilevati superamenti delle CSR unicamente nel piezometro GP032 per cloruro di vinile ed 1,1-Dicloroetilene, mentre i superamenti delle CSR registrati in EP001 e GP033 nel giugno/luglio 2011 non sono stati più rilevati nelle due campagne successive.

**Tabella 7.1-2 Superamenti 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>	-	-	-
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

La figura 5 riporta l'ubicazione del piezometro GP032 in cui si rilevano i superamenti delle CSR calcolate.

Questi risultati indicano un rischio potenzialmente non accettabile per inalazione di vapori, in corrispondenza del piezometro GP032. Alla luce della conservatività dei modelli di calcolo e dei parametri utilizzati per il calcolo delle CSR, questo rischio potenziale è stato verificato attraverso misure dirette di aria ambiente (cfr. Capitolo 8).

## 7.2 CSR per le acque sotterranee - Area H

Le CSR per le acque sotterranee sono state determinate in modalità backward, a tutela della salute umana dei recettori presenti, considerando attivo il percorso di inalazione di vapori outdoor per i lavoratori.

Secondo la procedura descritta al capitolo 3.1, sono state dapprima determinate le CSR per singola sostanza, esposizione e recettore, tali da mantenere la soglia di tollerabilità del rischio individuale cancerogeno e tossico. Le CSR singole sono state quindi ridotte ai fini della verifica del rischio cumulato.

Le CSR singole e cumulate calcolate per i COPCs individuati nell'area H sono riportate nella Tabella 7.2-1 CSR- Acque sotterranee area H seguente. La verifica dell'accettabilità del rischio a partire da tali CSR è riportata in tabella 4 a fine testo.

**Tabella 7.2-1 CSR- Acque sotterranee area H**

COPCs	Cmax (mg/l)	CSR singole mg/l	CSR cumulate mg/l
		Inalazione di vapori outdoor	
		Lavoratori	
Benzene	1,3E+0	2,0E+1	1,6E+1
Toluene	6,3E-2	>5.3E+2	5,3E+2
o-Xilene	4,1E-2	>1.8E+2	1,8E+2
m,p-Xilene	2,6E-2	>1.9E+2	1,9E+2
Triclorometano (cloroformio)	3,2E-1	8,0E+0	6,3E+0
Cloruro di vinile	7,3E-1	4,2E+0	4,2E+0
1,2-Dicloroetano	7,6E-2	1,7E+1	1,3E+1
1,1-Dicloroetilene	6,6E-2	8,3E-1	6,5E-1
Tricloroetilene	5,1E-2	6,2E+1	4,9E+1
Tetracloroetilene (PCE)	3,3E-2	1,2E+1	9,7E+0
Esaclorobutadiene	2,4E-4	>3.2E+0	3,2E+0
1,1-Dicloroetano	1,0E+0	>5.1E+3	5,1E+2
1,2-dicloroetilene	1,8E-1	1,4E+3	7,4E+2
1,2-Dicloropropano	1,5E-3	1,4E+1	1,1E+1
1,1,2-Tricloroetano	6,6E-2	3,5E+1	2,8E+1
1,2,3-Tricloropropano	4,1E-4	5,4E-1	4,2E-1
1,1,2,2-Tetracloroetano	8,5E-4	2,0E+1	1,5E+1
Monoclorobenzene	1,6E+1	>4.7E+2	4,7E+2
1,4-Diclorobenzene	2,9E-2	5,5E+1	4,3E+1

Dalla tabella si evince che le concentrazioni rappresentative delle sostanze presenti in area H risultano sempre inferiori alle CSR calcolate, e pongono quindi un rischio accettabile per i recettori considerati.

**VERIFICA DEL RISCHIO POTENZIALE DA INALAZIONE VAPORI OUTDOOR**

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 ovvero laddove sono emersi superamenti delle CSR.

In Tabella 5a si riportano i valori di concentrazione misurati in aria ambiente in prossimità di GP032. I risultati hanno mostrato la trascurabilità del percorso di inalazione vapori in quanto le concentrazioni dei risk drivers (1,1-dicloroetilene e cloruro di vinile) risultano sempre inferiori ai limiti di rilevabilità analitica. Le concentrazioni di tutte le sostanze analizzate in corrispondenza di GP032 e in area H (cfr. tabella 5b) risultano sempre inferiori ai valori limite di esposizione riportati nel D.Lgs. 81/2008 e s.m.i e/o ai TLV-TWA dell'ACGIH 2012.

Inoltre, nel settembre 2013 syndial ha attivato il campionamento con camera di flusso in corrispondenza di GP032 ovvero laddove sono emersi superamenti delle CSR. I risultati ottenuti da questo campionamento sono stati utilizzati per la verifica in modalità diretta del rischio da inalazione vapori, riportata in dettaglio in Appendice 5, che hanno mostrato l'accettabilità del rischio tossico e cancerogeno.

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

I certificati analitici di laboratorio recanti i risultati dei campionamenti sopracitati sono riportati nelle Appendici 6 e 7.

9

**CONCLUSIONI**

La presente analisi di rischio è stata elaborata in modalità inversa (backward mode) in accordo con la normativa vigente, ovvero il D.Lgs. 152/06, per la determinazione delle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) per le aree esterne allo stabilimento multisocietario di Brindisi che ricadono entro il perimetro dell'area di intervento oggetto del presente progetto di MISP.

L'elaborazione eseguita ha recepito le 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.

A fronte degli interventi previsti di capping e confinamento fisico dell'area, l'unico percorso di esposizione attivo risulta l'inalazione di vapori outdoor dalle acque sotterranee. I recettori che possono entrare in contatto con le sorgenti di contaminazione individuate sono i lavoratori occasionali che opereranno all'interno dell'area. Inoltre, sono stati considerati i lavoratori dello stabilimento multisocietario ubicati nelle adiacenze dell'area oggetto di analisi di rischio.

Le tabelle seguenti riportano le CSR calcolate per le due sorgenti individuate nelle acque sotterranee (area E-G e area H):

**Tabella 9-1 CSR – Acque sotterranee area E-G**

<b>COPCs</b>	<b>Crapp (mg/l)</b>	<b>CSR (mg/l)</b>
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



COPCs	Crapp (mg/l)	CSR (mg/l)
Idrocarburi Totali	3,2E-1	8,3E+0

**Tabella 9-2 CSR – Acque sotterranee area H**

COPCs	Crapp (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
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 sottostanti in concentrazioni superiori alle CSR calcolate,
- In area H le concentrazioni rappresentative delle sostanze presenti sono sempre inferiori alle CSR calcolate.

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 mentre i superamenti delle CSR registrati in EP001 e GP033 nel giugno/luglio 2011 non sono stati più confermati nelle due campagne successive.

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 e con camera di flusso in corrispondenza di GP032.

I risultati del campionamento in corrispondenza di GP032 hanno mostrato la trascurabilità del percorso di inalazione vapori in quanto le concentrazioni dei risk drivers (1,1-dicloroetilene e

cloruro di vinile) risultano sempre inferiori ai limiti di rilevabilità analitica. Inoltre le concentrazioni di tutte le sostanze analizzate in corrispondenza di GP032 e in area H risultano sempre inferiori ai valori limite di esposizione riportati nel D.Lgs. 81/2008 e s.m.i e/o ai TLV-TWA dell'ACGIH 2012.

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

**10****BIBLIOGRAFIA**

- [1] “Analisi di rischio ex D.Lgs. 152/06 e s.m.i. - Aree esterne al sito Multisocietario di Brindisi”, , Dicembre 2010, ERM
- [2] Massachusetts Department of Environmental Protection (Novembre 2003). “Update Petroleum Hydrocarbon Fraction Toxicity Values for the VPH/EPH/APH Methodology”.
- [3] Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i Servizi Tecnici (Marzo 2008). “Criteri Metodologici per l’applicazione dell’analisi assoluta di rischio ai siti contaminati”.
- [4] Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i Servizi Tecnici (Giugno 2008). “Documento di Riferimento per la Determinazione e la Validazione dei Parametri Sito-Specifici utilizzati nell’Applicazione dell’Analisi di Rischio ai sensi del D. Lgs. 152/06”.
- [5] Istituto Superiore della Sanità (Dicembre 2009). “Banca dati proprietà chimico-fisiche e tossicologiche delle sostanze”.
- [6] “Piano di caratterizzazione del sito – Relazione tecnica descrittiva” redatto da Aquater - Marzo 2001;
- [7] “Indagini di approfondimento per la caratterizzazione: Aree Esterne syndial E, G e H – Politecnico di Milano – URS Italia, Novembre 2012;

## TABELLE

## **APPENDICI**

**FIGURA**