



**Analisi di rischio sito-specifica
ai sensi del D.Lgs. 152/06**

Stabilimento Ex-Flexsys – Termoli (CB)

Preparato per:
Performances Additives Italy S.p.A.
Giugno 2011

Revisione N° 00
46318159

Titolo Progetto: Analisi di rischio sito-specifica ai sensi del D.Lgs. 152/06

Sito: Stabilimento Ex-Flexsys – Termoli (CB)

N° Progetto: 46318159

Rif. Rapporto:

Stato:

Nome del Contatto presso il Cliente: G. Liguori

Nome della Società Cliente: Performances Additives Italy S.p.A.

Emesso Da: URS Italia S.p.A.

Percorso di Creazione / Approvazione del Documento

Versione:	Nome	Firma	Data	Ruolo
Preparato da	Germana Distaso			Risk Assessor
Controllato da	Alberto Giuliani Hélène Galibert			Risk Assessor Project Manager
Approvato da	Gianmarco Lucchini			Director

Percorso di Revisione del Documento

Versione	Data	Dettagli delle Revisioni
00	Giugno 2011	Versione Originale - Draft

LIMITI

URS ha preparato il presente Rapporto affinché venga usato unicamente da Performances Additives indicato dal Contratto che regola la prestazione del presente servizio. Nessun'altra garanzia, espressa o implicita, è data sulla consulenza professionale inclusa nel presente Rapporto o su qualsiasi altro servizio da noi fornito. Sul presente Rapporto non dovrà far affidamento nessun'altra parte senza il previo ed espresso accordo scritto di URS. Salvo quanto altrimenti indicato nel presente Rapporto, la valutazione fatta parte dall'assunzione che i siti e le strutture continueranno ad essere utilizzate nel modo presente, senza apportare significativi cambiamenti. Le conclusioni e raccomandazioni formulate nel presente Rapporto sono basate sulle informazioni fornite da altri, assumendo che tutte le informazioni rilevanti siano state fornite da coloro ai quali sono state richieste. Le informazioni ottenute da terzi non sono verificate in modo indipendente da URS, salvo che non venga diversamente indicato nel Rapporto.

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

Sezione	N° di Pag.
INTRODUZIONE	1
1. INDAGINI INVESTIGATIVE INTEGRATIVE (MAGGIO 2011).....	3
1.1. Attività di campo	3
1.1.1. Realizzazione dei sondaggi	3
1.1.2. Realizzazione del piezometro P7.....	4
1.1.3. Campionamento dei terreni e delle acque	4
1.2. Risultati delle indagini di Maggio 2011	5
1.2.1. Geologia e idrogeologia	5
1.2.2. Stato dei terreni	6
1.2.3. Stato delle acque sotterranee	6
2. ANALISI DI RISCHIO SITO-SPECIFICA	7
2.1. Metodologia utilizzata.....	7
2.1.1. Calcolo delle CSR per la salute umana	8
2.1.2. Tutela della risorsa idrica sotterranea	9
2.2. Individuazione delle sostanze potenzialmente critiche (COPC_s)	10
2.3. Definizione del modello concettuale del sito (MCS).....	12
2.3.1. Sorgente primaria di contaminazione.....	12
2.3.2. Sorgente secondaria di contaminazione.....	12
2.3.3. Vie di migrazione	13
2.3.4. Recettori	13
2.3.5. Percorsi e modalità di esposizione.....	14
2.4. Valutazione dei parametri del MCS	15
2.4.1. Parametri di esposizione.....	15
2.4.2. Parametri geologici e idrogeologici	16
2.4.3. Parametri degli ambienti aperti	17
2.4.4. Parametri degli ambienti chiusi	18
2.4.5. Parametri geometrici delle sorgenti secondarie di contaminazione.....	19
2.4.6. Concentrazione rappresentativa della sorgente	20
2.4.7. Analisi della tossicità	21
2.4.8. Equazioni del modello	22
2.5. Calcolo delle concentrazioni soglia di rischio (CSR)	22
2.5.1. CSR per la salute umana	22
2.5.2. CSR per l'ambiente	26
3. CONCLUSIONI	27
4. BIBLIOGRAFIA	29

Tabelle

Tabella 1:	Rilievi piezometrici di maggio 2011
Tabella 2	Parametri fisico-chimici di campionamento della falda
Tabella 3:	Risultati di analisi chimiche sui campioni di terreni
Tabella 4:	Risultati di analisi chimiche sui campioni di acque
Tabella 5A	Contaminati Potenzialmente Pericolosi per la Salute Umana – Suolo Insaturo Superficiale
Tabella 5B	Contaminati Potenzialmente Pericolosi per la Salute Umana – Suolo Insaturo Profondo
Tabella 5C	Contaminati Potenzialmente Pericolosi per la Salute Umana – Acque Sotterranee
Tabella 6	Parametri chimico-fisici e tossicologici dei COPCs

Figure

Figura 1	Inquadramento geografico del Sito
Figura 2	Layout del Sito e ubicazione delle indagini
Figura 3A	Area Sorgente di contaminazione – Suolo insaturo Superficiale
Figura 3B	Ubicazione degli edifici considerati
Figura 4	Area Sorgente di contaminazione – acque
Figura 5	Freatimetria (maggio 2011)
Figura 6	Modello Concettuale del Sito

Allegati

Allegato 1:	Verbale della Conferenza di servizi del 13/12/2010
Allegato 2:	Stratigrafie dei sondaggi e piezometri
Allegato 3:	Verballi di campionamento dell'ARPA
Allegato 4:	Certificati analitici
Allegato 5	Interpretazione delle prove Lefranc
Allegato 6:	Dati meteorologici
Allegato 7	Run del Software RBCA 2.5

INTRODUZIONE

Il presente documento descrive la procedura e i risultati dell'Analisi di Rischio (AdR) 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 il sito industriale ex-Flexsys situato nel comune di Termoli (CB), di proprietà Performances Additives (Figura 1).

Il sito (Figura 2) occupa una superficie di circa 60.000 m² e ricade in un'area industriale sviluppata nel comune di Termoli a partire dal 1970 dal *Consorzio Industriale della Valle del Biferno*. Lo stabilimento di Termoli produce acceleranti per la vulcanizzazione della gomma utilizzati per la produzione di articoli in gomma, sia naturale che sintetica, quali ultra-acceleratori (carbammati).

A seguito della conferenza dei servizi del 13/12/2010 è stato approvato il Piano di Caratterizzazione (PdC) dello stabilimento ex-Flexsys di Termoli con delle precisazioni dall'ARPA Molise, come indicato nel documento 1840 del 23/12/2010 del Comune di Termoli (Allegato 1).

Nel maggio 2011 sono state realizzate le investigazioni previste nel Piano di Caratterizzazione, tenendo conto delle precisazioni dall'ARPA di seguito riassunte:

- l'analisi di rischio, da eseguire sui diversi percorsi di esposizione possibili;
- le controanalisi, da effettuare per almeno il 10% dei campioni;
- il campionamento superficiale dei terreni, richiesto fra 0 ed 1 m anziché fra 0 e 0,5 m.

La presente analisi di rischio è stata quindi condotta, per il sito in esame, in modalità *backward* per la definizione delle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR), quali obiettivi di bonifica per i terreni e delle acque sotterranee, in accordo con la normativa vigente ed i "Criteri Metodologici per l'Applicazione dell'Analisi di Rischio ai Siti Contaminati" (Criteri Metodologici) predisposti da APAT-ARPA/APPA-ICRAM, ISPESL, ISS, rev2, marzo 2008^[3].

Le componenti di questo studio, quali contaminanti indice, sorgenti, vie e modalità di esposizione, e recettori, sono state parametrizzate, come previsto dall'Allegato 1 al Titolo V del suddetto decreto, sulla base delle risultanze di tutte le indagini di cui sopra e sulla base dello scenario attuale dell'area.

Il software utilizzato ai fini del calcolo delle CSR è RBCA ver. 2.5; specificatamente sviluppato per supportare studi di analisi di rischio sanitario ambientale condotti secondo le procedure codificate dell'ASTM.

Il presente rapporto è strutturato come segue:

- Sezione 1: riassume i risultati delle indagini integrative eseguite nel maggio 2011;

- Sezione 2: descrive la metodologia e presenta i risultati dell'analisi di rischio;
- Sezione 3: presenta le conclusioni;
- Sezione 4: riassume la bibliografia.

DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

1. “Piano della Caratterizzazione”, URS Italia S.p.A., Ottobre 2010

1. INDAGINI INVESTIGATIVE INTEGRATIVE (MAGGIO 2011)

Le investigazioni previste nel Piano di Caratterizzazione sono state realizzate nel maggio 2011, tenendo conto delle precisazioni dell'ARPA (cfr. Allegato 1) nonché delle attività pregresse eseguite nel periodo compreso tra agosto 2007 e marzo 2010.

1.1. Attività di campo

Le investigazioni eseguite nel maggio 2011 hanno compreso le seguenti attività:

- esecuzione di 3 sondaggi geognostici (profondità: 5 m);
- perforazione e l'installazione di 1 piezometro di monitoraggio (profondità: 8,5 m);
- rilievo freaticometrico della rete di piezometri.

L'ubicazione delle indagini eseguite nel maggio 2011 è riportata in Figura 2.

L'indagine di campo è stata condotta tra il 2 e il 4 maggio 2011. La stratigrafia verticale delle perforazioni è stata controllata in campo con un fotoionizzatore portatile (PID). Il PID utilizzato misura la concentrazione di vapori organici che possono essere ionizzati da una lampada da 10,6 eV UV. Come indicato sulle stratigrafie riportate in Allegato 2, non sono state rilevate misure superiori a 0 ppm.

Si ricorda che lo scopo principale delle indagini era la verifica delle risultanze delle indagini già eseguite precedentemente e la ricerca dei parametri sito specifici utili alla redazione della presente analisi di rischio.

1.1.1. Realizzazione dei sondaggi

Sono stati realizzati 3 sondaggi a carotaggio continuo (BH1, BH2 e BH3), spinti sino a 5 metri di profondità. L'ubicazione è riportata in figura 2.

La perforazione è stata realizzata con un carotiere da 101 mm e tubazione di rivestimento provvisorio di diametro non inferiore a 127 mm. Nel corso della perforazione le carote di terreno sono state riposte all'interno di cassette catalogatrici.

In ciascuno dei 3 sondaggi, in corrispondenza dei terreni saturi, è stata realizzata una prova di permeabilità in foro a carico variabile (tipo Lefranc) con una durata media di circa 60 minuti.

I risultati dell'interpretazione sono riportati in Allegato 5. I valori di conducibilità idraulica valutata risultano compresi tra $2,2 \times 10^{-5}$ m/s e $2,2 \times 10^{-4}$ m/s; tali valori sono compatibili con la litologia riscontrata in fase di perforazione.

Al termine della perforazione si è proceduto al riempimento dei fori con materiale idoneo; gli ultimi 50 cm sono stati sigillati con tappo in cemento.

Le cassette catalogatrici sono state riposte in un ambiente idoneo protetto dalle intemperie.

1.1.2. Realizzazione del piezometro P7

Nel maggio 2011 è stato installato anche il piezometro di monitoraggio (denominato P7) approfondito sino a 8,5 metri dal piano campagna e ubicato nella zona settentrionale del sito posto in posizione di monte idrogeologico.

La perforazione è stata realizzata a carotaggio continuo utilizzando un carotiere da 101 mm e tubazione di rivestimento provvisorio di diametro non inferiore a 152 mm. Nel corso della perforazione le carote di terreno sono state riposte all'interno di cassette catalogatrici.

Al termine della perforazione il sondaggio è stato allestito a piezometro utilizzando una tubazione in PVC da 4". In corrispondenza del tratto fenestrato, tra 4 e 8 metri di profondità, nell'intercapedine terreno/tubazione, è stato installato un filtro costituito da ghiaia fine ben lavata; il filtro è stato esteso per circa un metro al di sopra del tratto fessurato.

In corrispondenza del tratto cieco della tubazione, l'intercapedine è stata sigillata con bentonite in pellets sino a 1 metro dal p.c.. L'ultimo metro è stato cementato utilizzando una miscela di cemento e bentonite. Successivamente, il piezometro è stato protetto da un pozzetto carrabile.

Al termine dell'installazione si è proceduto allo sviluppo del piezometro utilizzando una pompa sommersa.

E' stato inoltre eseguito il rilievo planialtimetrico del nuovo piezometro in riferimento alla rete piezometrica esistente.

Dopo aver completato il rilievo planialtimetrico, è stato misurato il livello della falda in tutti i piezometri.

1.1.3. Campionamento dei terreni e delle acque

Da ciascun sondaggio sono stati prelevati 3 campioni di terreno secondo il seguente schema previsto e approvato dal piano di caratterizzazione:

- Un campione superficiale tra 0 e 1 metro di profondità;
- Un campione profondo insaturo prelevato tra 2 e 3 metri di profondità;

- Un campione prelevato in falda (tra 4 e 5 metri di profondità), al fine del campionamento dei parametri sito-specifici per l'analisi di rischio

Inoltre, sono stati prelevati campioni delle acque di falda dai 6 piezometri esistenti e dal piezometro di nuova installazione.

I campioni sono stati riposti in contenitori idonei, etichettati con data del prelievo, numero di progetto e codice d'identificazione del campione.

I contenitori sono stati riposti in idonei contenitori termici e inviati al laboratorio di analisi accompagnati da apposita scheda di trasporto (Catena di custodia).

Sono state effettuate le seguenti analisi:

- zinco, idrocarburi ($C>12$ e $C<12$) e anilina su 6 campioni di suolo insaturo;
- i parametri TOC, pH, peso secco del suolo e granulometria su tutti i 9 campioni di suolo;
- alluminio, ferro, manganese e solfati sui 9 campioni di acque.

Per la valutazione dei dati di analisi sono stati inoltre analizzati due campioni:

- Bianco di trasporto preparato dal laboratorio;
- 1 duplicato di campo (il campione P8 corrisponde ad un doppio del campione P7).

1.2. Risultati delle indagini di Maggio 2011

1.2.1. Geologia e idrogeologia

La geologia del sito è caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali quaternari. I depositi sono prevalentemente costituiti da argilla limosa e sabbia limosa fino a profondità comprese fra 4,5 e 5,5 m. Questi depositi si sovrappongono a sabbia fine con minori quantità di limo e argilla.

La soggiacenza della falda in corrispondenza del sito è compresa tra circa 2,5 e 4.5 m rispetto al piano campagna. I rilievi freaticometrici eseguiti nel maggio 2011 confermano inoltre un flusso di falda genericamente orientato verso sud-est, in direzione del fiume Biferno.

Il gradiente idraulico misurato è molto basso, con un massimo stimato a 1 per mille (1 millimetro ogni metro).

1.2.2. Stato dei terreni

I sondaggi BH1, BH2 e BH3 sono stati realizzati nei pressi dei sondaggi TE-02, TE-10 e TE-17 che avevano mostrato durante la campagna del 2007 alcuni superamenti delle CSC: nessuno dei superamenti è stato confermato. Infatti i 6 campioni di terreno insaturo analizzati non hanno evidenziato nessun superamento rispetto ai valori di CSC per aree ad uso commerciale o industriale per lo zinco, gli idrocarburi e l'anilina.

I risultati delle analisi dei terreni sono riportati nella Tabella 3 a fine testo.

1.2.3. Stato delle acque sotterranee

In sei dei sette piezometri di monitoraggio sono stati rilevati superamenti della CSC per il manganese. La concentrazione più elevata è stata registrata nel campione prelevato dal piezometro P7, considerato in posizione di monte idrogeologico.

Il ferro è stato rilevato con concentrazioni di poco superiori al valore di CSC in corrispondenza del piezometro P5. Non sono emersi superamenti rispetto al valore di CSC per l'alluminio.

In cinque dei sette piezometri sono stati rilevati superamenti della CSC per i solfati. Le concentrazioni più elevate sono state riscontrate nei campioni prelevati dai piezometri P4 (1100 mg/l) e P5 (1600 mg/l), localizzati nei pressi dell'impianto di trattamento acque di post produzione.

I risultati delle analisi delle acque di falda sono riportati nella Tabella 4.

2. ANALISI DI RISCHIO SITO-SPECIFICA

2.1. Metodologia utilizzata

Lo scopo dell'analisi di rischio è la quantificazione del rischio potenziale cancerogeno e non-cancerogeno per i recettori umani presenti in sito e per i potenziali recettori che potrebbero essere esposti ai contaminanti d'interesse (COPCs - Contaminants of Potential Concern), considerando gli usi del sito, le caratteristiche dei contaminanti d'interesse e i meccanismi secondo cui le sorgenti e i recettori entrano in contatto.

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.

Per il sito in esame (Figura 2), l'analisi di rischio cronico e cancerogeno è stata elaborata calcolando le CSR per la salute umana dei recettori presenti attualmente nell'area in esame, relativamente ad una destinazione d'uso industriale della stessa.

Come previsto D.Lgs. 04/08, i limiti adottati per l'accettabilità del rischio sanitario sono i seguenti:

- Sostanze Cancerogene:
 - Valore di rischio individuale: 10^{-6}
 - Valore di rischio cumulativo: 10^{-5}
- Sostanze non Cancerogene: 1

Per quanto concerne il rischio ambientale, in accordo con quanto indicato dal D.Lgs. 04/08 è stato verificato, invece, il rispetto della qualità delle acque ai punti di conformità (POC), ubicati al confine del sito, a valle idrogeologica.

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.

La metodologia di applicazione della presente analisi di rischio fa riferimento ad una procedura nota come RBCA (Risk-Based Corrective Action) dell'ASTM, approfondita al livello 2; tale livello prevede l'utilizzo di modelli analitici in cui si introducono dati sito specifici.

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 (CSR).

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

2.1.1. 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 1×10^{-6} , un rischio cancerogeno cumulato pari a 1×10^{-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*.

2.1.2. Tutela della risorsa idrica sotterranea

Le recenti modifiche introdotte all'Allegato 1 del D.Lgs. 152/06, che riguardano in particolare la tutela della risorsa idrica sotterranea, impongono di verificare la qualità delle acque sotterranee, ovvero il rispetto delle CSC, al confine di proprietà del sito.

In particolare, la modifica al suddetto decreto riporta che *“il punto di conformità per le acque sotterranee rappresenta il punto a valle idrogeologico della sorgente al quale deve essere garantito il ripristino dello stato originale (ecologico, chimico e/o quantitativo) del corpo idrico sotterraneo, onde consentire tutti i suoi usi potenziali [sic]. Pertanto in attuazione del principio generale di precauzione, il punto di conformità deve essere di norma fissato non oltre i confini del sito contaminato oggetto di bonifica e la relativa CSR per ciascun contaminante deve essere fissata equivalente alle CSC di cui all'Allegato 5 della parte quarta del presente decreto [sic]. A monte idrogeologico del punto di conformità così determinato e comunque limitatamente alle aree interne del sito in considerazione, la concentrazione dei contaminanti può risultare maggiore della CSR così determinata, purché compatibile con il rispetto della CSC al punto di conformità nonché compatibile con l'analisi di rischio igienico sanitario per ogni altro possibile recettore nell'area stessa”*.

A valle delle indicazioni sopra riportate, nel presente studio è stato verificato che le concentrazioni dei potenziali contaminanti fossero minori od uguali alle CSC in corrispondenza dei piezometri di valle idrogeologica, ubicati lungo il confine del sito (P2 e P3).

2.2. Individuazione delle sostanze potenzialmente critiche (COPC_s)

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 industriale e commerciale e per le acque sotterranee, riportate dal D.Lgs 152/06 (Tabella 1/B e Tabella 2, Allegato 5 al Titolo V, Parte IV, D.Lgs. 152/06).

I sondaggi BH1, BH2 e BH3 sono stati realizzati nei pressi dei sondaggi TE-02, TE-10 e TE-17 che avevano mostrato durante la campagna del 2007 alcuni superamenti delle CSC: nessuno dei superamenti è stato confermato. Infatti i 6 campioni di terreno insaturo analizzati non hanno evidenziato superamenti rispetto ai valori di CSC per aree ad uso commerciale o industriale per lo zinco, gli idrocarburi e l'anilina.

Tuttavia, ai fini dell'identificazione dei COPCs nei terreni sono stati considerati i risultati analitici di tutte le campagne d'investigazione ambientale effettuate, ovvero delle campagne condotte da URS nei mesi di agosto/settembre 2007 e nel maggio 2011 (cfr. il "Piano della Caratterizzazione", URS Italia S.p.A., ottobre 2010, e il capitolo 1).

In particolare, dal confronto tra le concentrazioni rilevate in sito e le concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) per i terreni ad uso industriale e commerciale, emerge che i COPCs individuati per il suolo insaturo superficiale (0 - 1 m da p.c.) sono i seguenti:

- Zinco,
- Oli minerali (C>12);
- Anilina.

Tali superamenti sono stati rilevati durante la campagna di indagine del 2007.

Il suolo profondo invece non ha mostrato superamenti delle CSC indicate in Tabella 1B, Allegato 5 al Titolo V, Parte IV, D.Lgs. 152/06.

Ai fini dell'identificazione dei COPCs nelle acque sotterranee sono stati considerati i risultati analitici delle campagne di investigazione ambientale condotte da URS nei mesi di novembre 2009, marzo 2010 e maggio 2011, (cfr. "Piano della Caratterizzazione", URS Italia S.p.A., ottobre 2010, e il capitolo 1).

Nelle acque sotterranee, le sostanze rilevate in concentrazioni superiori alle CSC^a sono le seguenti:

- Alluminio;
- Ferro;
- Manganese;
- Solfati.

Per quanto riguarda alluminio, ferro e manganese, si ricorda che, come già specificato all'interno del Piano di Caratterizzazione, il Sito è stato sempre ed unicamente utilizzato per produrre additivi per l'industria della gomma. Non risultano utilizzi noti di questi metalli nei processi produttivi attuali o pregressi. I dati disponibili suggeriscono che è improbabile che le attività produttive del Sito abbiano contribuito ad impattare la falda con alluminio, ferro e manganese.

Inoltre, nei campioni di acque prelevati dal piezometro P1 sono stati individuati valori di alluminio, ferro e manganese eccedenti le CSC. Dal momento che il piezometro P1 è collocato presso il confine settentrionale del Sito e il flusso di falda è verso sud-est, risulta che il piezometro P1 può essere considerato un punto "sopra-gradiente". Pertanto è evidente che le acque di falda impattate da alluminio, ferro e manganese provengono da nord-ovest e migrare attraverso il Sito. Si ricorda inoltre nella campagna di maggio 2011 la concentrazione massima di manganese è stata rilevata nel piezometro di monte P7.

Pertanto, le concentrazioni di alluminio, ferro e manganese rilevate possono essere verosimilmente ascrivibili alle caratteristiche naturali dei suoli nell'area circostante il Sito e/o alla presenza di materiali di riporto.

Per quanto riguarda invece i solfati, le maggiori concentrazioni sono state rilevate nei campioni prelevati dai piezometri P3, P4, P5 e P6. Questi piezometri sono localizzati nei pressi dell'impianto di trattamento delle acque di post-produzione, nella porzione meridionale del Sito.

Inoltre, la concentrazione di solfati nelle acque sotterranee supera la CSC di riferimento anche nel campione prelevato nel piezometro P1 (presso il confine settentrionale del Sito) che, come indicato sopra, può essere considerato un piezometro sopra-gradiente. Ciò indica che le acque sotterranee impattate dai solfati hanno migrato verso il Sito provenendo da nord-ovest (aree sopra-gradiente), ma in livelli di concentrazione inferiori rispetto a quelli presenti in Sito.

Sulla base dei dati disponibili, si ritiene che l'impatto dei solfati sulle acque sotterranee sia originato in parte dallo stabilimento, in parte dalle zone limitrofe. Infatti, i fertilizzanti contenenti solfati utilizzati sui terreni agricoli a ovest e a nordovest del Sito (aree sopra-gradiente) potrebbero costituire possibili sorgenti aggiuntive, di origine antropica. Inoltre

^a Ai fini dell'identificazione dei COPCs non sono stati considerati i campioni "duplicati" e "bianchi" prelevati per il controllo di qualità.

le caratteristiche chimico-fisiche riduttive delle acque di falda (bassi tenori di ossigeno disciolto) possono in certi casi contribuire ad incrementare le concentrazioni di solfati.

Per tutti i motivi sopra esposti, alluminio, ferro e manganese non sono stati considerati quali COPCs per le acque di falda. I solfati invece sono stati considerati come COPCs per tale comparto ambientale.

Le Tabelle 5A, 5B e 5C fuori testo riportano tutti i contaminanti ricercati nel suolo insaturo superficiale, nel suolo insaturo profondo e nelle acque, il numero di campioni analizzati, le concentrazioni massime e minime rilevate ed il numero di superamenti dello CSC (ove esistenti) per ognuno dei parametri ricercati.

2.3. Definizione del modello concettuale del sito (MCS)

2.3.1. Sorgente primaria di contaminazione

Lo stabilimento di Termoli produce acceleranti per la vulcanizzazione della gomma utilizzati per la produzione di articoli in gomma, sia naturale che sintetica, quali ultra-acceleratori (carbammati).

Le sorgenti primarie di contaminazione sono identificabili in sversamenti di sostanze utilizzate nel processo produttivo avvenuti nel passato.

2.3.2. Sorgente secondaria di contaminazione

La sorgente secondaria di contaminazione cui è applicata la procedura di analisi di rischio è identificata con il comparto ambientale in cui sono rilevati superamenti delle concentrazioni soglia di contaminazione.

Per delimitazione areale delle sorgenti secondarie nei terreni 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 sulla base delle risultanze delle indagini investigative condotte in sito sono state individuate:

- due sorgenti di contaminazione secondaria nel suolo insaturo superficiale, ubicate nell'area settentrionale e centrale del sito, denominate SS1 e SS2. Tali sorgenti sono rappresentate graficamente in figura 3A.
- una sorgente nelle acque sotterranee, che ha estensione pari all'intero sito e lambisce il confine di valle idrogeologica del sito (Figura 4).

2.3.3. Vie di migrazione

Gli unici percorsi di migrazione della contaminazione attivi per le sorgenti individuate nel suolo insaturo sono rappresentati da:

- volatilizzazione di vapori e polveri dai terreni in ambienti aperti;
- volatilizzazione di vapori dai terreni in ambienti chiusi.

I percorsi di volatilizzazione di vapori risultano attivi unicamente per le sostanze organiche volatili (VOCs). Poiché i solfati non sono volatili, non esistono percorsi di migrazione attivi della contaminazione presente nelle acque sotterranee.

La lisciviazione della contaminazione dal terreno verso le acque sotterranee è un percorso di migrazione che non risulta attivo, in quanto le sostanze rilevate nel suolo superficiale non sono state riscontrate né nel suolo profondo, che non mostra alcuna sostanza in concentrazione superiore alle CSC, né nelle acque sotterranee.

In considerazione del fatto che la sorgente di contaminazione individuata nelle acque di falda lambisce il POC, il trasporto non è stato considerato un percorso attivo.

2.3.4. Recettori

In accordo con le procedure previste dal D.Lgs. 152/06, ai fini della definizione degli obiettivi di bonifica, sono stati identificati i potenziali bersagli della contaminazione presente nel suolo e nel sottosuolo del sito, nello scenario attuale a carattere industriale.

I possibili recettori che possono entrare in contatto con le sorgenti di contaminazione precedentemente definite, sono:

- *Recettori on site:* i lavoratori dello stabilimento;
- *Recettori off-site:* i lavoratori delle ditte ubicate nei pressi del sito;
- *Acque sotterranee.*

2.3.5. Percorsi e modalità di esposizione

I meccanismi in cui le sorgenti e i recettori entrano in contatto, secondo vie e modalità definite, si definiscono percorsi di esposizione. 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. I recettori on-site, esposti alla contaminazione presente nei terreni, sono i lavoratori dello stabilimento. In particolare, i percorsi d'esposizione completi cui tali recettori sono esposti sono rappresentati dall'ingestione, dal contatto dermico e dall'inalazione outdoor di particolato dal suolo superficiale, in corrispondenza delle aree non pavimentate, nonché dall'inalazione di vapori outdoor e indoor provenienti dal suolo insaturo superficiale. Poiché i solfati non sono volatili, non esistono percorsi di esposizione attivi attraverso cui i lavoratori potrebbero venire in contatto con i contaminanti presenti nelle acque sotterranee.

Lavoratori off-site. I lavoratori off-site esposti alla contaminazione dei terreni sono i lavoratori delle ditte ubicate nei pressi del sito. I percorsi d'esposizione completi cui tali recettori sono esposti sono rappresentati dall'inalazione outdoor di vapori e polveri provenienti dal suolo insaturo superficiale. Poiché i solfati non sono volatili, non esistono percorsi di esposizione attivi attraverso cui i lavoratori potrebbero venire in contatto con i contaminanti presenti nelle acque sotterranee.

Acque sotterranee. In accordo con quanto previsto dal D.Lgs. 04/08, per le acque sotterranee è stato imposto il rispetto delle CSC al confine del sito.

In Figura 6 è rappresentato in dettaglio il modello concettuale del sito.

2.4. Valutazione dei parametri del MCS

I parametri utilizzati nella procedura di analisi di rischio per la determinazione delle concentrazioni soglia di rischio (CSR) 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.

Si precisa che i parametri sito-specifici sono conformi a quanto indicato dal “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” Giugno 2008 ^[4].

2.4.1. Parametri di esposizione

I parametri d'esposizione umana utilizzati nel presente lavoro, per i percorsi d'esposizione attivi relativi ai recettori considerati, coincidono con i valori di default per i recettori industriali riportati nel documento “Criteri Metodologici per l'Applicazione dell'Analisi di Rischio ai Siti Contaminati”, rev.2, APAT, Marzo 2008. Tali parametri sono indicati nella successiva tabella 2.1.

Tabella 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 di esposizione indoor	giorni/anno	90 ^b
Frequenza giornaliera di esposizione outdoor/indoor	ore/giorno	8
Tasso d'inalazione indoor	m ³ /ora	0,9
Tasso d'inalazione outdoor	m ³ /ora	2,5
Frequenza di esposizione dermica	giorni/anno	250
Superficie di contatto	cm ²	3300
Fattore di aderenza dermica	mg/(cm ² giorno)	0,2
Tasso di ingestione suolo	mg/giorno	50

^b All'interno del software RBCA è inserito un tasso di inalazione pari a 20 m³/giorno, pari a 2,5 m³/ora per tutti i percorsi di inalazione; per inserire il tasso di inalazione indoor pari a 0,9 m³/ora previsto dai Criteri Metodologici APAT è necessario ridurre la frequenza di esposizione da 250 giorni/anno a 250*0,9/2,5=90 giorni/anno

2.4.2. Parametri geologici e idrogeologici

2.4.2.1. Parametri del terreno insaturo

I parametri relativi alle caratteristiche del terreno insaturo superficiale sono stati determinati attraverso misure sito specifiche (dati di caratterizzazione e indagini integrative); per tutti i parametri di cui non si dispone di dati rilevati in sito, 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.

In particolare, la tessitura del suolo insaturo superficiale è stata dedotta dalle granulometrie dei sondaggi realizzati nel maggio 2011 (cfr. capitolo 1); essa è di tipo medio, corrispondente alla classificazione “Loam”, indicata da APAT nei Criteri Metodologici.

La tabella 2.2 riporta tutti i parametri caratteristici del suolo insaturo superficiale utilizzati all'interno del modello di calcolo.

Tabella 2.2 Parametri del suolo insaturo superficiale

Parametro	Unità di Misura	Valore	Riferimento
Tessitura del suolo	-	Loam	Dato sito specifico: ricavato in base alle granulometrie dei sondaggi realizzati nel mese di maggio 2011 (cfr. capitolo 1)
Spessore del suolo insaturo	m	1	Dato sito specifico: pari allo spessore del suolo superficiale
Porosità totale del terreno	-	0,43	Criteri metodologici APAT per Loam
Contenuto volumetrico d'acqua del terreno (incluso il contenuto residuo di acqua)	-	0,291	Criteri metodologici APAT per Loam
Contenuto volumetrico d'aria del terreno	-	0,139	Criteri metodologici APAT per Loam
Contenuto volumetrico d'acqua nella frangia capillare (incluso il contenuto residuo di acqua)	-	0,395	Criteri metodologici APAT per Loam
Contenuto volumetrico d'aria nella frangia capillare	-	0,035	Criteri metodologici APAT per Loam
Spessore della frangia capillare	cm	37,5	Criteri metodologici APAT per Loam
Densità del suolo	g/cm ³	1,7	Criteri metodologici APAT
Frazione di carbonio organico del suolo (f _{oc})	g-C/g-suolo	0,0078	Sito specifico: valore minimo rilevato nel maggio 2011
Conducibilità idraulica a saturazione	cm/s	2,89E-04	Criteri metodologici APAT per Loam
pH	-	8,4	Sito specifico: valore minimo rilevato nel maggio 2011

Parametro	Unità di Misura	Valore	Riferimento
Permeabilità del suolo al flusso di vapore	cm ²	10 ⁻⁸	Criteri metodologici APAT per Loam

2.4.3. Parametri degli ambienti aperti

I parametri degli ambienti aperti, quali la direzione e la velocità del vento, sono stati determinati sulla base dei dati registrati sul sito SCIA dell'APAT^c per la stazione meteorologica di Termoli (cfr. Allegato 6).

In particolare, la rosa dei venti della stazione meteo suddetta indica una direzione prevalente del vento da Nord Ovest verso Sud est.

Per quanto concerne l'intensità del vento, invece, la velocità media a 2 m di altezza è stata ricalcolata a partire dalla velocità minima del vento rilevata a 10 m di altezza dal suolo (3,1 m/s), per la stazione sopra indicata e per il periodo di tempo compreso tra il 1980 e il 2010, considerando una classe di stabilità C (radiazione solare incidente moderata, determinata sulla base dei dati riportati nell'archivio climatico dell'agenzia ENEA^d e riferita alla città di Termoli) ed una rugosità del suolo 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=0,1

e dove:

$z_1 = 10$ m; $z_2 = 2$ m

$U_{air}(z_1)$ = velocità del vento a 10 m di altezza

$U_{air}(z)$ = velocità del vento a 2 m di altezza

Sulla base delle assunzioni fatte, la stima della velocità del vento a 2 m dal p.c. risulta pari a 2,64 m/s.

La tabella 2.5 riporta tutti i parametri caratteristici degli ambienti aperti utilizzati all'interno del modello di calcolo.

^c <http://www.scia.sinanet.apat.it/>

^d <http://clisun.casaccia.enea.it/Pagine/TabelleRadiazione.htm>

Tabella 2.3. Parametri caratteristici degli ambienti aperti

Parametro	Unità di Misura	Valore	Riferimento
Altezza di miscelazione in aria	m	2	Criteri metodologici APAT
Direzione prevalente del vento	-	NO - SE	Dato sito specifico: rosa dei venti per la stazione di Termoli (cfr. Allegato 6)
Velocità del vento	m/s	2,64	Dato sito specifico: valore calcolato ad una altezza di 2 m da p.c., a partire dalla minima velocità media rilevata a 10 m da p.c. (3,1 m/s) per la stazione meteorologica di Termoli considerando una classe di stabilità C (radiazione solare incidente moderata per la città di Termoli) ed una rugosità del suolo di tipo rurale e un valore di p pari a 0,15 (cfr. Allegato 6)
Portata di particolato per unità di superficie	g/cm ² -s	6,9E-14	Criteri metodologici APAT

2.4.4. Parametri degli ambienti chiusi

Gli edifici considerati ai fini del presente lavoro sono rappresentati dalla sala controllo e dal magazzino prodotti finiti, ove vi è la presenza di lavoratori per 8 ore/giorno, che risultano ubicati parzialmente sopra le sorgenti individuate. Gli edifici sono riportati in figura 3B.

La tabella successiva riassume tutti i parametri utilizzati in input per la modellazione del fenomeno di volatilizzazione dei vapori all'interno degli edifici considerati.

Tabella 2.4. Parametri caratteristici degli ambienti confinati - sala controllo

Parametro	Unità di Misura	Valore	Riferimento
Rapporto tra volume indoor e area di infiltrazione (m)	m	3,5	Sito specifico: pari all'altezza dell'edificio considerato
Area delle fondazioni	m ²	229	Sito specifico: dato ricavato dalla planimetria riportata in Figura 2
Perimetro delle fondazioni	m	66	Sito specifico: dato ricavato dalla planimetria riportata in Figura 2
Spessore della soletta di fondazione	cm	15	Criteri metodologici APAT
Frazione areale di fratture	-	0,01	Criteri metodologici APAT
Contenuto volumetrico d'acqua nelle fondazioni	-	0,291	Sito specifico: pari al contenuto d'acqua nella zona vadosa ^e

^e Il modello di Johnson & Ettinger considera che le fratture delle fondazioni siano riempite dal suolo sottostante l'edificio; pertanto il contenuto d'acqua e d'aria risultano i medesimi del terreno superficiale (zona vadosa, tessitura loam, rif.^[7])

Parametro	Unità di Misura	Valore	Riferimento
Contenuto volumetrico d'aria nelle fondazioni	-	0,139	Sito specifico: pari al contenuto d'acqua nella zona vadosa
Profondità delle fondazioni dal p.c.	m	0,15	Criteri metodologici APAT
Differenza di pressione tra aria indoor e outdoor	g/cm*s ²	0	Criteri metodologici APAT
Tasso di ricambio d'aria indoor	s ⁻¹	2,3E-04	Criteri metodologici APAT per gli edifici industriali

Tabella 2.5. Parametri caratteristici degli ambienti confinati – Magazzino prodotti finiti

Parametro	Unità di Misura	Valore	Riferimento
Rapporto tra volume indoor e area di infiltrazione (m)	m	8	Sito specifico: pari all'altezza dell'edificio considerato
Area delle fondazioni	m ²	2302	Sito specifico: dato ricavato dalla planimetria riportata in Figura 2
Perimetro delle fondazioni	m	200	Sito specifico: dato ricavato dalla planimetria riportata in Figura 2
Spessore della soletta di fondazione	cm	15	Criteri metodologici APAT
Frazione areale di fratture	-	0,01	Criteri metodologici APAT
Contenuto volumetrico d'acqua nelle fondazioni	-	0,291	Sito specifico: pari al contenuto d'acqua nella zona vadosa ^f
Contenuto volumetrico d'aria nelle fondazioni	-	0,139	Sito specifico: pari al contenuto d'acqua nella zona vadosa
Profondità delle fondazioni dal p.c.	m	0,15	Criteri metodologici APAT
Differenza di pressione tra aria indoor e outdoor	g/cm*s ²	0	Criteri metodologici APAT
Tasso di ricambio d'aria indoor	s ⁻¹	2,3E-04	Criteri metodologici APAT per gli edifici industriali

2.4.5. Parametri geometrici delle sorgenti secondarie di contaminazione

A valle dell'identificazione delle aree sorgenti nel suolo insaturo superficiale, denominate SS1 e SS2, sono stati definiti i parametri geometrici delle stesse. Tali dati, riportati nelle successive tabelle sono stati determinati sulla base di misure sito-specifiche, in accordo con quanto definito nei "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati", APAT, rev. 02, Marzo 2008.

^f Il modello di Johnson & Ettinger considera che le fratture delle fondazioni siano riempite dal suolo sottostante l'edificio; pertanto il contenuto d'acqua e d'aria risultano i medesimi del terreno superficiale (zona vadosa, tessitura loam, rif.^[7])

Tabella 2.6. Parametri geometrici della sorgente – Sorgente SS1

Parametro	Unità di Misura	Valore	Riferimento
Lunghezza della sorgente in direzione prevalente del vento	m	96	Dato sito specifico: misura dell'area sorgente SS1 (Figura 3A) lungo la direzione prevalente del vento (NO-SE)
Spessore della sorgente	m	1	Dato sito specifico: pari al massimo spessore della sorgente individuata (Figura 3A)

Tabella 2.7. Parametri geometrici della sorgente – Sorgente SS2

Parametro	Unità di Misura	Valore	Riferimento
Lunghezza della sorgente in direzione prevalente del vento	m	53	Dato sito specifico: misura dell'area sorgente SS2 (Figura 3A) lungo la direzione prevalente del vento (NO-SE)
Spessore della sorgente	m	1	Dato sito specifico: pari al massimo spessore della sorgente individuata (Figura 3A)

Poiché non esistono percorsi di esposizione attivi a partire dalle acque sotterranee, la sorgente è assunta pari all'intero sito e le CSR per la salute umana non sono state calcolate; è invece stato valutato il rispetto delle CSC al punto di conformità coincidente con i piezometri P2 e P3.

2.4.6. Concentrazione rappresentativa della sorgente

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 APAT, poiché nelle aree sorgenti individuate è stato rilevato un numero di punti d'indagine inferiori a 10, la concentrazione rappresentativa (Crapp) coincide con la concentrazione massima del singolo contaminante rilevato.

Le successive tabelle riportano le Crapp dei COPCs identificati nel suolo insaturo superficiale.

Tabella 2.8. Concentrazione rappresentativa alla sorgente – Sorgente SS1

COPCs	CSC (mg/kg)	Comparto ambientale	C _{rapp} (mg/kg)	Statistica applicata
C>12	750	Suolo Superficiale	3200	Valore massimo
Anilina	5		12	Valore massimo

Tabella 2.9. Concentrazione rappresentativa alla sorgente – Sorgente SS2

COPCs	CSC (mg/kg)	Comparto ambientale	C _{rapp} (mg/kg)	Statistica applicata
Zinco	1500	Suolo Superficiale	2400	Valore massimo
C>12	750		1200	Valore massimo

Nella tabella seguente sono riportate le concentrazioni rappresentative per la sorgente acque sotterranee.

Tabella 2.10. Concentrazione rappresentativa alla sorgente – Acque sotterranee

COPCs	CSC (mg/l)	Comparto ambientale	C _{rapp} (mg/kg)	Statistica applicata
Solfati	250	Acque sotterranee	1600	Valore massimo

Si ricorda che per i terreni la concentrazione rappresentativa alla sorgente non è utilizzata in input per il calcolo delle CSR, ma la sua determinazione è effettuata unicamente al fine di verificare lo stato di eventuale passività ambientale del sito in esame, mediante il confronto con gli obiettivi di bonifica.

2.4.7. 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 Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza sul Lavoro (ISPESL), ultima revisione del Maggio 2009.

Al fine di definire la CSR per gli Oli minerali (C>12), si è scelto di utilizzare la classe di idrocarburi alifatici C9-C18 in quanto più cautelativa per i percorsi considerati (inalazione di vapori). Si ricorda infatti che per le classi di idrocarburi aromatici C11-C22 e alifatici C19-C36 non sono definiti valori relativi alla Reference Dose da inalazione.

Nel database ISS/APAT non sono presenti parametri tossicologici per il parametro solfati, che non sono considerati tossici dall'ISS; pertanto non è possibile calcolare la CSR per la salute umana per i solfati.

I parametri chimico-fisici e tossicologici di tutti i COPCs utilizzati in input all'analisi di rischio sono riportati nella tabella 3 fuori testo.

2.4.8. Equazioni del modello

L'analisi di rischio è stata elaborata mediante l'uso del software RBCA ver. 2.5, per il calcolo delle CSR.

In particolare, le equazioni utilizzate per la stima dell'entità dei fenomeni di volatilizzazione di vapori dei contaminanti dal terreno e dalle acque sotterranee e del successivo trasporto agli ambienti outdoor e indoor corrispondono al modello di Johnson and Ettinger indicate anche nel documento: *"Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati"* - APAT, rev 2, marzo 2008. Il modello utilizzato per l'inalazione di polveri è il modello ASTM, indicato anch'esso all'interno dei Criteri Metodologici APAT.

2.5. Calcolo delle concentrazioni soglia di rischio (CSR)

Il processo di caratterizzazione del rischio integra i risultati qualitativi e quantitativi della valutazione dei dati, dell'esposizione e della tossicità. Sulla base delle considerazioni e metodologie esposte nelle sezioni precedenti, il calcolo delle CSR è stato effettuato, in accordo al D.Lgs. 04/08, per gli scenari e per i percorsi d'esposizione selezionati, accettabili i valori di rischio cancerogeno singolo e cumulato rispettivamente pari a 10^{-6} e 10^{-5} e i valori di rischio tossico singolo e cumulato pari ad 1.

In Allegato 7 sono riportati i run dei software RBCA ver. 2.5, utilizzati per il calcolo delle CSR.

2.5.1. CSR per la salute umana

Le concentrazioni soglia di rischio (CSR) per il suolo insaturo superficiale sono state calcolate per le singole aree sorgenti considerate nel presente lavoro per la determinazione gli obiettivi di bonifica a protezione della salute umana, relativamente ai COPCs e ai percorsi d'esposizione identificati al par. 2.3.

2.5.1.1. Suolo Superficiale – Sorgente SS1

La CSR per la sorgente secondaria di contaminazione SS1, individuata nel suolo insaturo superficiale, è stata determinata in modalità *backward* a tutela della salute umana dei lavoratori, considerando i percorsi di ingestione, contatto dermico, inalazione di polveri e vapori outdoor e inalazione di vapori indoor dal suolo superficiale.

Poiché per i lavoratori off site le condizioni di esposizione coincidono con quelle relative ai recettori on-site mentre i percorsi attivi non prevedono il contatto dermico e l'ingestione, le CSR per la sorgente SS1 riferite a tali bersagli sarebbero superiori a

quelle per i lavoratori on-site. Pertanto sono state calcolate unicamente le CSR relative ai recettori on-site.

Secondo la procedura descritta al paragrafo 2.1, è stata dapprima determinata la CSR per singola via d'esposizione e singola sostanza tale da mantenere la soglia di tollerabilità del rischio cancerogeno e tossico individuale pari rispettivamente a 10^{-6} e 1. Tale CSR è riportata nella successiva tabella 2.11.

Tabella 2.11. CSR per la singola sostanza - Suolo Superficiale (sorgente SS1)

COPC	Crapp (mg/kg)	CSR (mg/kg) - Lavoratori on-site/off site				
		Ingestione	Contatto dermico	Inalazione di polveri outdoor	Inalazione di vapori outdoor	Inalazione di vapori indoor
Alifatici C9-C18	3200	1,5E+5	2,0E+5	>Csat (53)	>Csat (53)	>Csat (53)
Anilina	12	4,6E+2	6,1E+2	>Csat (19000)	1,3E+2	3,6E+2

*Csat = Concentrazione di saturazione

In accordo con quanto riportato dai Criteri Metodologici APAT, la CSR finale per il suolo insaturo superficiale è stata selezionata scegliendo il valore più conservativo (minore) tra il valore cumulato per l'ingestione, il contatto dermico, l'inalazione di polveri e vapori outdoor, e il valore associato all'inalazione di vapori indoor.

In particolare, la CSR cumulata relativa ai percorsi outdoor (contatto dermico, ingestione, inalazione di polveri e vapori) deve garantire il rispetto degli indici di rischio previsti dalla normativa vigente; tale CSR è stata calcolata con una procedura iterativa a ritroso a partire dal minimo valore di CSR calcolato per le singole vie di esposizione in oggetto.

La CSR finale e la verifica dei rischi ad essa associata, calcolati in modalità diretta (*forward*) per i recettori considerati, è riportata nelle successive tabelle 2.12 e 2.13.

Tabella 2.12. Suolo Superficiale SS1 - CSR finale e verifica del rischio cancerogeno

COPC	CSR (mg/Kg)	Rischio Cancerogeno – Lavoratori on-site				
		Ingestione	Contatto dermico	Inalazione di polveri outdoor	Inalazione di vapori outdoor	Inalazione di vapori indoor
Anilina	24	3,2E-8	2,4E-8	1,2E-13	1,1E-7	4,1E-8
Rischio Cancerogeno Totale		3,2E-8	2,4E-8	1,2E-13	1,1E-7	4,1E-8
		1,6E-7				

Tabella 2.13. Suolo Superficiale SS1 - CSR finale e verifica del rischio tossico

COPC	CSR (mg/Kg)	Rischio Tossico – Lavoratori on-site				
		Ingestione	Contatto dermico	Inalazione di polveri outdoor	Inalazione di vapori outdoor	Inalazione e di vapori indoor
Alifatici C9-C18	7815	5,0E-2	3,8E-2	3,3E-7	6,7E-1	5,4E-1
Anilina	24	5,2E-2	3,9E-2	1,9E-7	1,8E-1	6,7E-2
Rischio Tossico Totale		1,0E-01	7,7E-02	5,3E-07	8,4E-01	6,9E-1
		1,0E+0				

I risultati sopra riportati mostrano che i rischi tossici e cancerogeni associati alla CSR calcolate rispettano i limiti di tollerabilità singoli e cumulati, per tutti i percorsi d'esposizione considerati.

La tabella seguente mostra quindi il confronto tra il valore di CSR calcolata a protezione della salute umana dei recettori considerati e la concentrazione rappresentativa alla sorgente (Crapp) rilevata in sito.

Tabella 2.14. Suolo Superficiale SS1– Confronto tra la CSR e la Crapp

COPC	CSR (mg/kg)	Crapp (mg/kg)
Alifatici C9-C18	7815	3200
Anilina	24	12

Le concentrazioni rappresentative dei COPCs rilevati nel suolo insaturo superficiale risultano inferiori alle corrispondenti CSR calcolate; pertanto, non sussiste alcun rischio non accettabile per la salute umana dei recettori considerati.

2.5.1.2. Suolo Superficiale – Sorgente SS2

La CSR per la sorgente secondaria di contaminazione SS2, individuata nel suolo insaturo superficiale, è stata determinata in modalità *backward* a tutela della salute umana dei lavoratori, considerando i percorsi di ingestione, contatto dermico, inalazione di polveri e vapori outdoor e inalazione di vapori indoor dal suolo superficiale.

Poiché per i lavoratori off site le condizioni di esposizione coincidono con quelle relative ai recettori on-site mentre i percorsi attivi non prevedono il contatto dermico e l'ingestione, le CSR per la sorgente SS2 riferite a tali bersagli sarebbero superiori a quelle per i lavoratori on-site. Pertanto sono state calcolate unicamente le CSR relative ai recettori on-site.

Secondo la procedura descritta al paragrafo 2.1, è stata dapprima determinata la CSR per singola via d'esposizione e singola sostanza tale da mantenere la soglia di tollerabilità del rischio tossico pari a 1. Tale CSR è riportata nella successiva tabella 2.15.

Tabella 2.15. CSR per la singola sostanza - Suolo Superficiale (sorgente SS2)

COPC	Crapp (mg/kg)	CSR (mg/kg) - Lavoratori on-site/off site				
		Ingestione	Contatto dermico	Inalazione di polveri outdoor	Inalazione di vapori outdoor	Inalazione di vapori indoor
Zinco	2400	1,0E+6	6,1E+5	>1.0E+6	>1.0E+6	>1.0E+6
Alifatici C9-C18	1400	1,5E+5	2,0E+5	>5.3E+1	>5.3E+1	>5.3E+1

*Csat = Concentrazione di saturazione

In accordo con quanto riportato dai Criteri Metodologici APAT, la CSR finale per il suolo insaturo superficiale è stata selezionata scegliendo il valore più conservativo (minore) tra il valore cumulato per l'ingestione, il contatto dermico, l'inalazione di polveri e vapori outdoor, e il valore associato all'inalazione di vapori indoor.

In particolare, il valore cumulato per l'ingestione, il contatto dermico, l'inalazione di polveri e vapori outdoor, è stato calcolato con una procedura iterativa a ritroso a partire dal minimo valore di CSR calcolato per le singole vie di esposizione in oggetto.

La CSR finale e la verifica dei rischi ad essa associata, calcolati in modalità diretta (*forward*) per i recettori considerati, è riportata nella successiva tabella 2.16.

Tabella 2.16. Suolo Superficiale SS2 - CSR finale e verifica del rischio tossico

COPC	CSR (mg/Kg)	Rischio Tossico – Lavoratori on-site				
		Ingestione	Contatto dermico	Inalazione di polveri outdoor	Inalazione di vapori outdoor	Inalazione di vapori indoor
Zinco	124786	2,7E-2	2,0E-1	1,0E-6	-	-
Alifatici C9-C18	7971	5,1E-2	3,9E-2	3,4E-7	6,8E-1	2,4E-1
Rischio Tossico Totale		7,8E-02	2,4E-01	1,4E-06	6,8E-01	2,4E-1
		1,0E+00				

I risultati sopra riportati mostrano che i rischi tossici associati alla CSR calcolate rispettano i limiti di tollerabilità singoli e cumulati, per tutti i percorsi d'esposizione considerati.

La tabella seguente mostra quindi il confronto tra il valore di CSR calcolata a protezione della salute umana dei recettori considerati e la concentrazione rappresentativa alla sorgente (Crapp) rilevata in sito.

Tabella 2.17. Suolo Superficiale SS1– Confronto tra la CSR e la Crapp

COPC	CSR (mg/kg)	Crapp (mg/kg)
Zinco	124786	2400
Alifatici C9-C18	7971	1400

Le concentrazioni rappresentative dei COPCs rilevati nel suolo insaturo superficiale risultano inferiori alle corrispondenti CSR calcolate; pertanto, non sussiste alcun rischio non accettabile per la salute umana dei recettori considerati.

2.5.2. CSR per l'ambiente

Le modifiche introdotte all'Allegato 1 del D.Lgs. 152/06, che riguardano in particolare la tutela della risorsa idrica sotterranea, impongono di verificare la qualità delle acque sotterranee, ovvero il rispetto delle CSC, al confine di proprietà del sito.

Dal momento che la sorgente individuata per le acque sotterranee lambisce il confine del sito, la CSR per i solfati è stata posta pari al valore di CSC pari a 250 mg/l.

Tabella 2.18. Acque Sotterranee - CSR

COPCs	CSR = CSC (mg/l)
Solfati	250

Nella tabella successiva si riporta il confronto fra le concentrazioni dei solfati rilevate nel corso della più recente campagna di monitoraggio, condotta nel mese di maggio 2011, in corrispondenza dei piezometri P2 e P3 ubicati al confine del sito, idrogeologicamente a valle, e la CSR.

Tabella 2.19. Acque Sotterranee - Confronto tra le concentrazioni ai POC e le CSC

COPCs	P3 (mg/L)	P2 (mg/L)	CSR = CSC (mg/l)
Solfati	580	210	250

Dal confronto si evince che i solfati nel piezometro P3 sono presenti con concentrazione superiore al corrispondente valore di CSR, pertanto sussiste un rischio non accettabile per la risorsa idrica sotterranea.

3. CONCLUSIONI

La presente analisi di rischio è stata elaborata in modalità inversa (*backward mode*) per la definizione delle concentrazioni soglia di rischio (CSR) per il sito in esame, quali obiettivi di bonifica, in accordo con il D. Lgs 152/06 e con i "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati - APAT-ISS-ISPEL-ICRAM-ARPA" (rev.2, 2008), considerando l'attuale uso del sito di tipo industriale/commerciale.

I contaminanti di interesse (COPCs) per i terreni sono stati identificati sulla base dei risultati di tutte le indagini condotte in sito (campagne di agosto/settembre 2007 e maggio 2011); per la matrice acque sotterranee sono state considerate le campagne di novembre 2009, marzo 2010 e maggio 2011. In particolare, i COPCs rilevati nei suoli sono zinco, oli minerali (C>12) e anilina, mentre i solfati sono stati identificati come COPCs per le acque sotterranee. Il suolo profondo invece non ha mostrato superamenti delle CSC indicate in Tabella 1B, Allegato 5 al Titolo V, Parte IV, D.Lgs. 152/06.

Le CSR per la salute umana dei recettori considerati (lavoratori on site e off site) sono state determinate per il suolo insaturo superficiale, considerando come vie di esposizione l'ingestione, il contatto dermico e l'inalazione di polveri outdoor, l'inalazione dei vapori indoor e outdoor per i lavoratori on site. Poiché per i lavoratori off site le condizioni (tempo di esposizione, tasso di inalazione, ecc) sono le stesse rispetto ai lavoratori on site, ma per essi non sono attivi i percorsi diretti (contatto dermico e ingestione) le CSR calcolate per i bersagli off-site sono state assimilate a quelle relative ai bersagli on-site.

La lisciviazione della contaminazione dal terreno verso le acque sotterranee è un percorso di migrazione che non risulta attivo, in quanto le sostanze rilevate nel suolo superficiale non sono state riscontrate né nel suolo profondo, che non mostra alcuna sostanza in concentrazione superiore alle CSC, né nelle acque sotterranee. Poiché i solfati non sono volatili, non esistono percorsi di esposizione attivi attraverso cui i lavoratori potrebbero venire in contatto con i contaminati presenti nelle acque sotterranee.

Le CSR calcolate per il suolo insaturo sono superiori alle concentrazioni dei COPCs rilevati in sito, pertanto non determinano un rischio non accettabile per la salute umana.

Per quanto concerne la tutela della risorsa idrica sotterranea, le modifiche introdotte dal D.Lgs. 04/08 impongono di verificare la qualità delle acque sotterranee, ovvero il rispetto delle CSC, al confine di proprietà del sito. Il D.Lgs. 04/08 riporta che "Valori superiori possono essere ammissibili solo in caso di fondo naturale più elevato o di modifiche allo stato originario dovute all'inquinamento diffuso" (rif: Allegato 1 alla Parte IV del Decreto Legislativo 152/06).

La concentrazione di solfati nelle acque sotterranee supera la CSC di riferimento nel campione prelevato nel piezometro P1 (presso il confine settentrionale del Sito) che può essere considerato un piezometro sopra-gradiente. Ciò indica che acque sotterranee esterne impattate da solfati hanno migrato verso il Sito provenendo da nord-ovest ma in

livelli di concentrazione inferiori rispetto a quelli presenti in Sito. Dal momento che la sorgente individuata per le acque sotterranee lambisce il confine del sito, la CSR per i solfati è stata posta pari alla CSC. La concentrazione rilevata al punto di conformità P3 è pari a 580 mg/l e quindi risulta superiore al valore di CSR proposto.

Pertanto alla luce delle considerazioni esposte si propone di:

- controllare la qualità della falda, nell'ambito di operazioni di monitoraggio periodico.

Si ricorda infatti che :

- il gradiente idraulico della falda è molto basso (meno di 0,1%). La velocità di flusso è inferiore a 0,03 metri al giorno (con una conducibilità idraulica compresa tra $2,2 \times 10^{-5}$ m/s e $2,2 \times 10^{-4}$ m/s);
- non è noto alcun uso potabile o non potabile delle acque sotterranee nel sito e nelle aree circostanti ad esso;
- i solfati non sono registrati come tossici dall'Istituto Superiore di Sanità Italiano;
- le concentrazioni registrate nel piezometro Pz1, ubicato sopra gradiente, sono indicative di una possibile presenza diffusa di solfati nella zona esterna dello stabilimento.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Unichim, Manuale n. 196/1 (2002). "Suoli e falde contaminati. Analisi di rischio sito-specifica. Criteri e parametri".
- [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 (Maggio 2009). "Banca dati proprietà chimico-fisiche e tossicologiche delle sostanze".
- [6] Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (Ottobre 2010). "Protocollo ISPRA-INAIL (ex-ISPEL) per la valutazione del rischio associato all'inalazione di vapori e polveri, in ambienti aperti e confinati nei siti di bonifica".
- [7] Johnson & Ettinger, Heuristic model for predicting the intrusion rate of contaminant vapors into building, Environmental Science & technology

Tabelle

Figure

Allegati

Allegato 1

Allegato 2

Allegato 3

Allegato 4

Allegato 5

Allegato 6

Allegato 7