TRE E C srl
via Timavo 34, 20124 - Milano
P.IVA 010234567891
+39 02 94392300 info@3ec.it www.3ec.it

OASI IMMOBILIARE S.R.L.
AREA ACCIAIERIA EX AFIM

Comune di Nave (BS)
Via Sorelle Minola 23 – 25075 Nave (BS)

VARIANTE DEL PROGETTO DI BONIFICA
ALLEGATO A02

ANALISI DI RISCHIO APPLICATA DEPOSITO AL SERVIZIO DELLA BONIFICA PER RIFIUTI SPECIALI NON PERICOLOSI

Redatto da: **Ing.Paolo Pacetti**
Società: **TRE EC S.r.l.**

Milano, 26 luglio 2019

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI MILANO
DOTT. ING.
PAOLO PACETTI
N. 1646

Estensore documento: Ing. Paolo Pacetti	**Codifica commessa:** 35CONS18	**Data:** 26/07/2019	
Responsabile commessa: Ing. Paolo Pacetti	**Tipo documento:** Relazione tecnica	**Revisione:** Rev. 00	
	Nome file: A02-Analisi di Rischio .docx	**Revisioni precedenti:** Numero	Data
	Note:		

INDICE

1 PREMESSA 3

2 CARATTERISTICHE DEL SITO 6

2.1 Modello concettuale 6

2.2 Descrizione litologica e idrogeologica sito specifica 6

2.3 Descrizione dettagliata dell'area 7

2.3.1 Destinazione d'uso del sito. 7

2.3.2 Acquisizione parametri sito-specifici 7

3 ANALISI DI RISCHIO APPLICATA AL DEPOSITO DI SERVIZIO ALLA BONIFICA 13

3.1. Stima del rischio falda 13

3.2. Calcolo del rischio falda 20

3.3. Valutazione delle massime concentrazioni dei parametri in relazione alle deroghe (art.10) o alle sottocategorie (art.7) dei limiti di Tabella 5a DM 27.09.2010 29

4 ANALISI DI RISCHIO APPLICATA ALL'AREA 3 CONSIDERANDO IL MATERIALE COME TERRENO CONTAMINATO 31

4.1. Analisi di rischio applicata ai "terreni" dell'Area 3 nella situazione attuale 31

4.1. Analisi di rischio applicata ai "terreni" dell'Area 3 nella situazione con taglio dei percorsi attraverso capping 40

5 CONCLUSIONI 44

1 PREMESSA

Nell'ambito della proposta di variante progettuale di bonifica per l'area Ex Afim in Comune di Nave (BS), ora proprietà di Oasi Immobiliare srl, variante resasi necessaria per il completamento della bonifica stessa, è stato valutato un intervento di messa in sicurezza permanente.

L'intervento viene proposto nella parte meridionale della ex Afim, in corrispondenza della zona denominata Area 3 e di parte delle Aree 2a, 2b, 2c e 2d. In particolare l'Area 3 è stata utilizzata nelle precedenti operazioni di bonifica come area di caratterizzazione del materiale scavato e di deposito temporaneo del medesimo. Essa quindi non risulta essere ancora stata oggetto di intervento. Presenta una parte più occidentale con contaminazione profonda (fino a 6,00 m da p.c.) da rifiuti vari (rifiuti di acciaieria e riporti di varia natura) caratterizzati soprattutto dalla presenza di metalli pesanti. La parte più orientale invece presenta una contaminazione più superficiale, al di sotto della quale una recente fase integrativa di caratterizzazione ha evidenziato la presenza di terreno naturale di buona qualità, il cui scavo darà origine a materiale necessario al riempimento nelle altre aree della ex Afim già bonificate e creerà il volume per la messa in sicurezza permanente con la capacità necessaria alla messa a dimora di tutto il materiale non altrimenti reimpiegabile.

La normativa vigente prevede che nell'ambito di un intervento di bonifica di un sito inquinato si possa realizzare uno spazio protetto on site ove ricoverare i terreni contaminati, con l'autorizzazione dell'autorità territorialmente competente. Tale principio è sancito al comma 3, Art. 7 del D.M. 27/09/2010 e s.m.i.. Il volume di messa in sicurezza permanente dovrebbe poter contenere tutti i terreni ed i riporti contaminati individuati, nel sito ex AFIM, durante le varie fasi della caratterizzazione e della precedente bonifica.

Con riferimento alle caratteristiche specifiche dei rifiuti che saranno presumibilmente prodotti dalle operazioni di bonifica del sito ex AFIM, oggetto di questo Progetto Operativo, si potranno ammettere nel volume di messa in sicurezza permanente le seguenti categorie di rifiuti, costituiti fondamentalmente da terreni e riporti contaminati:

- Rifiuti non pericolosi che sottoposti a test di cessione rispettano i limiti di Tabella 5 (v. seguito), con un tenore di secco non inferiore al 25%;
- Rifiuti pericolosi stabili non reattivi che
  - sottoposti a test di cessione rispettano i limiti di Tabella 5a (v. seguito);
  - hanno una concentrazione di carbonio organico totale (TOC) non superiore al 5%;
  - hanno pH non inferiore a 6;
  - hanno un tenore di secco non inferiore al 25%;
  - dimostrano adeguate stabilità fisica e capacità di carico ;
  - dimostrano una sufficiente capacità di neutralizzazione degli acidi;
- Rifiuti che contengono PCB in concentrazione non superiore a 10 mg/Kg;
- Rifiuti che contengono diossine e furani in concentrazione (in tossicità equivalente) non superiore a 0,002 mg/Kg;
- Rifiuti che contengono altri inquinanti organici persistenti in concentrazioni non superiori ai limiti di cui all'Allegato IV del Regolamento CE n. 850/2004.

Di seguito si riportano i limiti tabellari di cui all'Art. 6 del D.M. 27/09/2010 e s.m.i.

Tabella 1-1

Limiti di concentrazione nell'eluato per l'accettabilità in discarica per rifiuti non pericolosi (Art. 6, D.M. 27/09/2010 e s.m.i.)

parametro	Tabella 5 rifiuti non pericolosi mg/L	Tabella 5a rifiuti pericolosi stabili non reattivi mg/L
arsenico	0,2	0,2
bario	10	10
cadmio	0,1	0,1
cromo totale	1	1
rame	5	5
mercurio	0,02	0,02
molibdeno	1	1
nichel	1	1
piombo	1	1
antimonio	0,07	0,07
selenio	0,05	0,05
zinco	5	5
cloruri	2.500	1.500
fluoruri	15	15
solfati	5.000	2.000
carbonio organico disciolto (DOC)	100	80
solidi disciolti totali (TDS)	10.000	6.000

N.B.: è possibile utilizzare il limite per i TDS in alternativa ai valori di solfati e cloruri

I rifiuti presenti sull'area ex Afim rispettano nella quasi totalità dei campioni i limiti di cui alla Tabella sopra riportata senza necessità di pretrattamento: si è registrato un leggero superamento dei limiti del parametro molibdeno (1,1 mg/l nell'eleuato) rilevato nei rifiuti pericolosi a suo tempo inviati a smaltimento in Germania.

In analogia con il D.M. 27/09/2010 e s.m.i. (art.10) che ammette alcune deroghe ai limiti sopra indicati, nel volume di messa in sicurezza permanente potranno essere accettati anche rifiuti caratterizzati da concentrazioni negli eluati fino a tre volte i limiti tabellari. La presente analisi di rischio sito-specifica intende dimostrare che tali rifiuti non causeranno impatti negativi sull'ambiente circostante il deposito.

Le deroghe riguardano in generale l'ammissibilità di rifiuti caratterizzati da concentrazioni negli eluati fino a tre volte i limiti tabellari; fanno eccezione tuttavia i parametri che descrivono il contenuto di sostanza organica dei rifiuti (DOC negli eluati, TOC e organici persistenti nel tal quale), meno derogabili soprattutto in presenza di rifiuti pericolosi.

Oggetto della presente relazione è applicare il criterio dell'analisi di rischio relativamente all'intero set di parametri contenuti nella Tabella 5a del citato D.M. 27.09.2010, per valutare l'accettabilità del rischio nei confronti dell'ambiente relativamente alle caratteristiche costruttive del bacino e alle deroghe richieste sull'ammissibilità dei rifiuti.

Poiché non esiste una normativa tecnica specifica per i volumi di messa in sicurezza permanente (deposito), si adottano a titolo cautelativo i riferimenti ed i criteri indicati da ISPRA per la valutazione degli impatti generati dalle discariche, che risultano dal punto di vista costruttivo l'opera più simile a quanto proposto in progetto.

Il percorso utilizzato sarà duplice.

Da un lato, utilizzando i riferimenti della circolare ISPRA del 31.10.2011 verrà calcolato il valore massimo accettabile in deposito $C_{acc(deposito)}$ legato attraverso al fattore di lisciviazione alle concentrazioni massime accettabili nelle acque sotterranee $C_{acc(acquesotterranee)}$ o CL_{GW}, che rappresenta la massima concentrazione dei vari contaminanti nel percolato presente.

Dall'altro verrà utilizzato quanto previsto nella "Nota integrativa della nota ISPRA n.30237 del 16.09.2010, sull'applicazione della circolare del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare n.0014963 del 30.06.2009" per la determinazione delle concentrazione dei parametri valori di cui è possibile chiedere la deroga sul limiti al test di cessione di cui alla Tabella 5a del DM 27.09.2010 in virtù dell'articolo 10 o ammessi alle sottocategorie in base all'articolo 7.

Verranno pertanto valutati gli effetti sulla sola componente potenzialmente influenzata come bersaglio, cioè le acque sotterranee.

A ulteriore supporto dei risultati ottenuti, viene presentata un'analisi di rischio semplificata alla sola componente di rischio per le acque sotterranee redatta considerando tutto il materiale ancora presente al di sotto della superficie dell'Area 3 della ex Afim come terreno contaminato e non come rifiuto ed imputando ad ogni parametro la concentrazione massima riscontrata sia in fase di caratterizzazione che di bonifica per le aree ancora oggetto di intervento, una situazione che rappresenta in termini molto cautelativi lo stato attuale. Il risultato dimostra l'effettiva esistenza di un rischio per la falda.

La stessa analisi di rischio è stata effettuata prevedendo il taglio dei percorsi (in questo caso l'infiltrazione efficace delle acque meteoriche) attraverso una barriera superficiale artificiale (capping). I risultati dimostrano che questo accorgimento sarebbe già sufficiente a garantire l'accettabilità del rischio.

A maggior ragione, quindi, lo sarà il presidio di messa in sicurezza permanente proposto.

2 CARATTERISTICHE DEL SITO

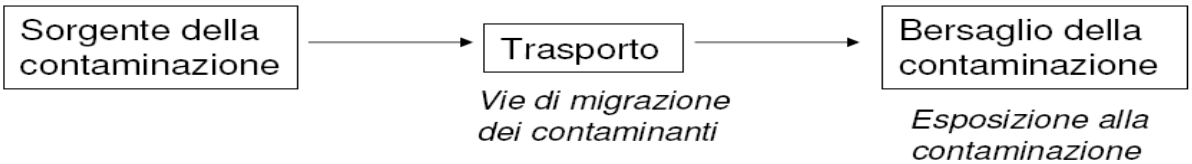
2.1 Modello concettuale

Il documento "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" si propone come strumento utile all'applicazione dell'analisi di rischio per la salute umana derivante da una discarica, quale sito contaminato, in corrispondenza ad un livello 2 di analisi, così come definito dalla procedura RBCA ("Risk Based Corrective Action") descritta negli standard ASTM E-1739-95 e PS-104-98. Tale documento si propone quindi come obiettivo principale quello di individuare i metodi e definire i concetti e i criteri attraverso i quali poter applicare le procedure generiche, già indirizzate ai siti contaminati, al caso specifico delle discariche.

Il volume di messa in sicurezza permanente previsto sull'area ex AFIM non è giuridicamente considerato una discarica, ma dal punto di vista concettuale e costruttivo è realizzato con tutte le tecniche ed i presidi di sicurezza di una discarica. Pertanto, non esistendo modelli di analisi di rischio specifici per la messa in sicurezza permanente, viene adottato quello molto cautelativo previsto per le discariche sopra citato.

Il risultato finale di un'analisi di rischio porta alla definizione di accettabilità o meno di una situazione contingente, in cui siano state individuate le sostanze pericolose e la loro tossicità, le possibili vie di migrazione delle sostanze sulla base delle loro caratteristiche chimico-fisiche e del contesto idrogeologico del sito nonché della presenza entro le vie di migrazioni di un possibile bersaglio (uomo, fauna o flora, ecosistemi etc.).

Nell'ambito della analisi di rischio sanitario (AdR) è necessario ricostruire il "Modello Concettuale del Sito" (MCS). Tale elaborazione è frutto delle indagini ed analisi di caratterizzazione del sito e la sua definizione comprende essenzialmente la ricostruzione dei caratteri delle tre componenti principali che costituiscono l'AdR: sorgente, trasporto e bersaglio.



2.2 Descrizione litologica e idrogeologica sito specifica

L'analisi delle indagini eseguite, con particolare riferimento ai carotaggi, consente di ricostruire una successione litostratigrafica che è definita da differenti litologie, raggruppate in base alla conducibilità idraulica, come di seguito riassunto:

- *Depositi a bassa permeabilità*: strati di argille limose dovuti a fasi di stagnazione delle acque, nei quali sono stati anche inclusi strati con granulometria molto eterogenea, dalle ghiaie alle argille limose, che hanno gli stessi caratteri idraulici;
- *Depositi semipermeabili*: complessi formati da straterelli decimetrici a varia granulometria dai limi alle sabbie limose o argillose, fra loro interdigitati, che consentono una lenta circolazione orizzontale e verticale;
- *Depositi permeabili*: costituiti da ghiaie e sabbie, parzialmente classati od eterogenei, intercalati a straterelli di depositi semipermeabili o a livelli cementati. Essi sono insaturi nella porzione più superficiale, saturi a profondità superiore a 12

- 15 metri da piano campagna. Lo strato insaturo, a contatto con lo strato semipermeabile, può dar luogo ad una falda temporanea di scarso rilievo.
- *Roccia di base*: formata da calcari e calcari marnosi che presentano fenomeni di dissoluzione e fatturazione con permeabilità molto variabile.

Per quanto concerne l'aspetto idrogeologico, grazie alla rete di piezometri installati nell'area, è stato possibile ricostruire la superficie piezometrica di dettaglio con un deflusso principale della falda posto in direzione **NO – SE** ed un gradiente idraulico (i) di **0,006**.

2.3 Descrizione dettagliata dell'area

2.3.1 Destinazione d'uso del sito.

L'attuale progetto edilizio prevede che la zona a sud del Canale Minera, oggetto della presente analisi di rischio, sia conforme ai limiti stabiliti dalla Colonna B della Tabella 1 dell'Allegato 5 - Parte Quarta e Titolo V del D.Lgs. 152/06. Di seguito sono riportati tutti i dati sito specifici necessari alla redazione sia dell'analisi di rischio applicata alla discarica (messa in sicurezza permanente) sia di quella applicata ai terreni contaminati.

2.3.2 Acquisizione parametri sito-specifici.

Aspetto prioritario della AdR, così come previsto dall'Allegato 1 – Titolo V – Parte 4 del D.Lgs. 152/06, ribadito in modo netto dalle linee guida APAT/ISPRA, è la necessità di utilizzare il maggior numero possibile di dati sito-specifici così da rendere l'analisi sensibilmente vicina alla realtà.

PARAMETRI FISICI

Per l'acquisizione dei dati fisici sito-specifici relativi al terreno si è proceduto ad eseguire n. 2 analisi granulometriche per setacciatura, secondo le metodiche ASTM, e tali prove sono state affidate al laboratorio Chemiricerche srl.

Le analisi granulometriche sono state eseguite sui campioni di terreno dei sondaggi S6 ed S8 (**certificati n. 6814/2009 e 6815/2009 di Chemiricerche**), alla quota di 7 m da p.c., quindi nell'insaturo, per S6 e alla quota di 20/21 m da p.c. (quindi nel saturo) per S8.

Nella seguente tabella vengono riassunti i risultati delle due prove in termini di percentuali di ghiaia, sabbia e limo + argilla.

Tabella 2-1: Risultati prove per ricerca frazioni granulometriche sitospecifiche

Frazioni granulometriche caratteristiche	S6	S8
Ghiaia (d > 2 mm)	46,55 %	0,55 %
Sabbia (2 < d > 0,075 mm)	11,18 %	5,37 %
Limo + Argilla (d < 0,075 mm)	42,38 %	94,08 %

Le prove hanno consentito di classificare i terreni come ghiaia e argilla limosa (S6) e argilla limosa (S8).

Dalle analisi granulometriche di cui sopra, mediante l'utilizzo delle tabelle presenti nel manuale APAT/ISPRA/ISPRA sono stati stimati alcuni parametri fisici da imputare nei calcoli.

Parametri fisici insaturo

Contenuto volumetrico d'acqua	0,068
Contenuto volumetrico d'aria	0,317

Parametri fisici saturo

Porosità efficace	0,385
H frangia capillare	10 cm (default)

FRAZIONE DI CARBONIO ORGANICO (foc) E DENSITA'

Al fine di una corretta e sito-specifica determinazione, tali parametri sono stati determinati sperimentalmente in laboratorio basandosi sulle metodiche e linee guida di APAT/ISPRA e dell'ISS. Per i risultati si rimanda ai certificati in Allegato (**certificati n. 6690-6692-6684-6689-6685-6687-6691-6688-6683/2009 di Chemiricerche**) mentre qui di seguito vengono riassunte le determinazioni analitiche utilizzate come dati di input.

Tabella 2-2: Determinazione foc

Sondaggio	**Profondità (m)**	**foc (adim)**	
S7	8-9	0,116	insaturo
S7 falda	23-24	0,0116	saturo

Densità secca della zona non satura	1,62 g/cm^3
Densità secca della zona satura	1,56 g/cm^3

PARAMETRI IDROGEOLOGICI

I parametri idrogeologici sono stati calcolati grazie alla ricostruzione della superficie piezometrica e dai dati sito-specifici ricavati nell'intero comparto di interesse. Essi derivano dall'interpretazione dei vari dati ricavati nell'ambito delle indagini sulla qualità delle acque di falda e in particolare per la presenza di cromo VI, da parte del Porf.Colombetti, incaricato da Oasi Immobiliare e dal team di esperti coordinato da Comune di Nave.

Per la soggiacenza della falda è stato preso il valore minore tra le misurazioni disponibili nei piezometri 4, 5, 6, 8, rappresentativi dell'area in oggetto. Per quanto riguarda il calcolo del gradiente idraulico, sono state trasformate le soggiacenze misurate nei piezometri 5 e 8 in data 22/9/09 in m slm ed è stata applicata la formula relativa.

Soggiacenza falda	- 14,28 m (piezometri 4, 5, 6, 8)
Gradiente idraulico	0,006 (misurato tra piezometri 5 e 8)

Conducibilità idraulica	1,50 * 10^{-4} m/s -> 12,96 m/giorno (Prove Lefranc allegate)
Spessore dell'acquifero	30 m (relazione idrogeologica A05)

INFILTRAZIONE EFFICACE

Così come descritto nel manuale APAT/ISPRA, applicando l'equazione di bilancio idrologico, espressa nei minimi termini, l'infiltrazione efficace (Ief) è data dalla relazione:

$$I_{ef} = P-(ET + S)$$

dove:

P indica la precipitazione atmosferica [cm/d]

ET tiene conto dei fenomeni di evaporazione e traspirazione della copertura vegetale

S indica lo scorrimento superficiale (o ruscellamento superficiale).

Nel caso in cui la sorgente secondaria di contaminazione sia costituita da terreno omogeneo o approssimabile come tale, l'infiltrazione efficace media annua può essere stimata in funzione delle precipitazioni medie annue e del tipo di tessitura prevalente nel suolo (sabbiosa, limosa o argillosa) a mezzo delle seguenti relazioni empiriche:

- Terreni sabbiosi Ief = 0,0018 P^2
- Terreni limosi Ief = 0,0009 P^2
- Terreni argillosi Ief = 0,00018 P^2

dove le suddette correlazioni prevedono valori di precipitazione media annua e di infiltrazione efficace espressi in cm/anno.

Inoltre, per correlare le relazioni sopra riportate con la classificazione dei terreni compositi basata sul metodo dell'USDA, si sottolinea che:

- Nella classe SAND sono comprese le tessiture: Sand, Loamy Sand e Sandy Loam;
- Nella classe SILT sono comprese le tessiture: Sandy Clay Loam, Loam, Silt Loam e Silt;
- Nella classe CLAY sono comprese le tessiture: Clay Loam, Silty Clay Loam, Silty Clay, Sandy Clay e Clay.

Le suddette relazioni empiriche sono riferite ad un suolo ricoperto di erba.

Al fine di definire un valore sito-specifico del parametro infiltrazione efficace, viene preso come riferimento il valore di piovosità annua della stazione meteorologica Arpa di Caino per il periodo 2006-2018 pari ad una media di 1.317,25 mm (131,73 cm/anno - Tabella 2-3). Il dato di Caino è sicuramente superiore rispetto alla piovosità che si rileva a Nave e come tale quindi da considerarsi cautelativo.

Sulla base della classificazione dei terreni costituenti la sorgente, nell'ottica del principio di conservatività, si assimilano i terreni alla classe di quelli sabbiosi e quindi per il calcolo dell'infiltrazione efficace si utilizza la formula empirica per le sabbie.

$$\mathbf{I_{ef}} = 0{,}0018\ P^2 = 0{,}0018 \times (131{,}73 \times 131{,}73)\ \text{cm/anno} = 31{,}24\ \text{cm/anno} =$$

$$= \mathbf{0{,}31\ m/anno}$$

Tabella 2-3 Piogge annuali cumulate anni 2006-2018 – Stazione pluviometrica di Caino (BS) – Rete Arpa Lombardia

Rete ARPA Lombardia - Stazione di Caino (BS)	
anno	**pioggia cumulata**
	mm/anno
2006	1094,4
2007	945,6
2008	1474
2009	1441,2
2010	1868
2011	1185,6
2012	1312,2
2013	1620,4
2014	1950,6
2015	797,6
2016	1221,6
2017	895,80
2018	1349,20
media	**1317,25**

Il dato calcolato è molto vicino al valore di default indicato da APAT/ISPRA nei suoi manuali relativi all'analisi di rischio e pari a 30 cm/anno.
Nelle valutazione relative all'analisi di rischio, tale valore verrà eventualmente moltiplicato per un coefficiente adimensionale "a", i cui valori indicativi sono riportati nel Manuale di ISPRA e che tiene conto dell'attenuazione dell'infiltrazione dovuto alla presenza di uno strato di copertura naturale/artificiale.

PUNTO DI CONFORMITA' E DISPERSIVITA'

L rappresenta la distanza tra la sorgente di contaminazione ed il punto di conformità. In questo caso il punto di conformità corrisponde con il bordo della sorgente, perciò L=0.

Per l'applicazione dell'analisi di rischio è richiesta anche la conoscenza dei tre parametri relativi alla dispersività derivati dal valore di L, le cui formule sono riportate nel manuale APAT/ISPRA:

- dispersività longitudinale = 0 m
- dispersività trasversale = 0 m
- dispersività verticale = 0 m

DIMENSIONI DEL SITO

L'Area 3 occupa la porzione meridionale del sito ex AFIM per circa 13.400 m^2. Essa sarà pressoché totalmente interessata dalla realizzazione della discarica per la messa in sicurezza permanente dei rifiuti presenti all'interno dell'Area 3 stessa e dei cumuli e

delle altre aree della ex Afim dove è necessario effettuare operazioni di scavo per raggiungere gli obiettivi di bonifica.

Viene fatta salva la fascia di 10 m dal muro perimetrale lungo il Torrente Garza, per salvaguardare la stabilità del muro stesso. Tale area verrà bonificata per "conci".

L'estensione dell'inquinamento in profondità nella parte più occidentale dell'area e la necessità di recuperare volume utile a mettervi a dimora il materiale già scavato non riutilizzabile per riempimenti e il materiale ancora da scavare ha reso necessario l'allargamento della zona adibita a discarica per la messa insicurezza permanente dei rifiuti, fino a ricomprendere porzioni delle aree 2a, 2b, 2c e 2d. La dimensione a livello del piano campagna della discarica di servizio alla bonifica ha una dimensione di circa 159 nella direzione parallela al Torrente Garza e 85 m nella direzione ad esso perpendicolare. Nel sottosuolo della parte centrale ed orientale del bacino è presente il terreno naturale che sarà utilizzato per i riempimenti negli scavi a Nord del Canale Minera.

La profondità, al lordo del pacchetto di impermeabilizzazione del fondo è pari a 5 metri di cui 4 utili. L'area dell'invaso a livello del piano campagna è di 13.400 m^2 mentre il fondo misura, circa 8.900 m^2.

Per l'analisi di rischio, la dimensione massima parallela alla direzione della falda è pari a circa 126 metri, mentre quella ad essa perpendicolare è pari a circa 100.

SISTEMA DI IMPERMEABILIZZAZIONE DEL FONDO DEPOSITO E DELLE PARETI

Il fondo e le pareti del deposito di servizio alla bonifica saranno completamente impermeabilizzate al fine di impedire le infiltrazioni del percolato nel terreno e nelle falde idriche sottostanti. Saranno inoltre predisposti un sistema di drenaggio e captazione del percolato.

Nelle seguenti tabelle si riassumono i sistemi di impermeabilizzazione adottati:

Tabella 2-4: Sistema di impermeabilizzazione e drenaggio del fondo

strato di argilla - spessore minimo di cm 50, permeabilità $K<1x10^{-7}$ cm/s;
geomembrana in HDPE - spessore di 2 mm;
geotessile non tessuto di protezione da 600 g/m^2;
strato drenante di ghiaietto - selezionato con spessore di cm 50 con alloggiata la rete di raccolta del percolato

Tabella 2-5: Sistema di impermeabilizzazione delle sponde

strato di argilla - spessore minimo di cm 50, permeabilità $K<1x10^{-7}$ cm/s,
geomembrana in HDPE - spessore di 2 mm;
geotessile non tessuto di protezione da 600 g/m^2;

SISTEMA DI COPERTURA SUPERFICIALE FINALE DEL DEPOSITO

Lo schema costruttivo del sistema di copertura previsto recepisce le prescrizioni della norma di riferimento (il D.Lgs. 36/03) con la sola riduzione dello spessore dello strato

di terreno naturale superficiale. Il sistema dell'impianto è costituito dai seguenti elementi, in ordine di posa, dal basso verso l'alto:

Tabella 2-6: Sistema di copertura definitiva del corpo rifiuti

strato di impermeabilizzazione minerale in argilla di conducibilità idraulica K<1 x 10^{-6} cm/s - spessore di 50 cm
protezione al rivestimento con **geotessile non tessuto** da 400 gr/m^2
strato di drenaggio con **materiale inerte** (granulometria compresa tra 2 mm a 25/30 mm) – spessore di 50 cm
strato di **terreno di copertura** per la crescita della vegetazione (la massimizzazione dell'evapotraspirazione e la protezione dell'impermeabilizzazione sottostante dai fenomeni di gelo-disgelo e dai fenomeni di essiccamento) dello spessore minimo complessivo di cm 50

3 ANALISI DI RISCHIO APPLICATA AL DEPOSITO DI SERVIZIO ALLA BONIFICA

3.1. Stima del rischio falda

Secondo quanto riportato nel documento ISPRA/APAT "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio alle discariche", Rev. 0 - Giugno 2005, il rapporto tra la concentrazione del contaminante in falda (C_{GW}) e la concentrazione limite prevista dalla normativa in corrispondenza del punto di conformità (CL_{GW}) (nel nostro caso la qualità delle acque sotterranee sotto il deposito) definisce numericamente il rischio per la risorsa idrica sotterranea (R_{GW}) e per essere accettabile deve assumere valori inferiori all'unità.

$$R_{GW} = \frac{C_{GW}}{CL_{GW}}$$

L'assunto di cui sopra, considerando le concentrazioni direttamente al di sotto del corpo del deposito, risulta in linea con le formulazioni fornite da ISPRA nel documento del 31.10.2011, nell'ambito del tavolo tecnico sulla tematica delle sottocategorie istituito dalla Regione Veneto con DGR n.1766 del 06.07.2010.

In tale documento di ISPRA la valutazione del rischio è stata illustrata con la formula seguente:

$$C_{acc(acquesotterranee)} = C_{acc(deposito)} \times LF$$

Quindi le Concentrazioni accettabili di una sostanza nelle acque sotterranee (limiti per le acque sotterranee) sono dati dai valori dalle Concentrazioni accettabili nel deposito per quella sostanza moltiplicata il "fattore di lisciviazione LF", con

$$LF = \frac{SAM}{LDF} = \frac{\frac{d_d}{L_{GW}}}{\left(1 + \frac{v_{gw} \cdot \delta_{gw} \cdot W}{L_f}\right)}$$

Questo permette, conoscendo le Concentrazioni accettabili nelle acque sotterranee per una determinata sostanza, di calcolare il valore massimo di Concentrazione accettabile della sostanza medesima mediante la formula:

$$C_{acc(deposito)} = \frac{C_{acc(acquesotterranee)}}{LF}$$

Il valore di $C_{acc(deposito)}$ così calcolato rappresenta la massima concentrazione ammissibile di una data sostanza nel percolato perché essa non rappresenti un rischio per la falda, sia cioè ammissibile per la qualità delle acque sotterranee.

Nella presente relazione verranno calcolate le massime concentrazioni delle sostanze ammissibili nel percolato del deposito di servizio alla bonifica con riferimento agli analiti di cui alla Tabella 5a del DM 27.09.2010.

Tale valore massimo ammissibile di concentrazione negli eluati dei vari inquinanti elencati nella citata Tabella 5a è stato raggiunto solo in due campioni prelevati dai cumuli smaltiti in Germania nell'anno 2008 e relativo al solo parametro molibdeno (1,1 mg/l contro il limite di 1 mg/l).

Il presupposto di partenza è ovviamente che il bacino del deposito sia efficiente nel contenere gli effetti delle eventuali deroghe richieste ed in grado di considerare largamente accettabile il rischio potenziale nei confronti della qualità delle acque sotterranee.

Infine, poiché non esiste una correlazione diretta ed assoluta tra test di cessione (quindi in grado di definire le concentrazioni accettabili nei rifiuti in ingresso alla discarica) e concentrazioni che effettivamente verranno riscontrate all'interno del deposito nel percolato, verrà richiesta una deroga rispetto ai limiti di Tabella 5a del DM 27.09.2010 ai sensi dell'Art.10, ulteriormente verificata con l'Analisi del Rischio sito specifica

Non esiste, ad oggi, un valore limite per le acque sotterranee previsto dalla normativa italiana per il DOC, quindi è stato utilizzato l'unico dato di cui è stato possibile avvalersi.

La Regione Veneto nell'allegato A alla Dgr n. 2407 del 04 agosto 2009 afferma che, sulla base dei risultati analitici di una sperimentazione condotta, è stata riscontrata una buona **correlazione tra i parametri DOC e COD**: il valore di COD è risultato in media circa tre volte il valore di DOC (**COD=3xDOC**).

Pertanto, se si considera il valore limite per le acque sotterranee per il COD pari a 30 mg/l, come definito dalla tabella 1/A dell'allegato 2 alla parte terza del D.Lgs. 152/2006, è possibile ricavare un **valore limite ipotetico per il DOC pari a 10 mg/l**.

Nella seguente analisi di rischio, oltre al parametro DOC, sono stati considerati anche tutti i parametri contenuti nella Tabella 5 del DM 27.09.2010 Arsenico, Bario, Cadmio, Cromo, Rame, Mercurio, Molibdeno, Nichel, Piombo Antimonio, Selenio, Zinco Cloruri, Fluoruri, Solfati Indice di fenolo e TDS (Solidi Totali Disciolti).

Il riferimento normativo in questo caso, risulta essere Il D.Lgs. 16 marzo 2009, n. 30 (Pubblicato nella Gazz. Uff. 4 aprile 2009, n. 79) "Attuazione della direttiva 2006/118/CE, relativa alla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento" ed in particolare la Tabella 3. Per rame e zinco, per cui il D.Lgs 30/2009 non fissa limiti, rimangono in vigore i valore di cui alla Tabella 2, allegato 5, titolo V, parte IV del D.Lgs. 152/2006

Per il Molibdeno, metallo non presente nella suddetta tabella, è stato preso il limite di 50 µg/l stabilito dal "*Ministry of Water and Air Protection*" della British Columbia (Canada) nel documento "*Criteri per la qualità dell'acqua per il Molibdeno*", la cui concentrazione minima ammissibile, a seconda della destinazione dei corpi idrici, viene riportata nella seguente tabella:

Tabella 3-1: Criteri per la qualità dell'acqua per il Molibdeno - Ministry of Water and Air Protection della British Columbia (Canada)

Water Use	**Maximum mg/l total Molybdenum**
Raw Untreated Drinking Water	0,25
Fresh Water Acquatic Life	2
Wildlife	0,05
Livestock Water Supply (consuming forages not irrigated or if molybdenum containing fertilizers are applied to grow feed consumed by livestock)	0,08
Livestock Water Supply (all other cases)	0,05
Irrigation Water-Poorly Drained Soil – Cu:Mo ratio is less than 2:1 the irrigation water - (forage crops)	0,05
Irrigation Water-Poorly Drained Soil – Cu:Mo ratio is greater than 2:1 the irrigation water - (forage crops)	0,05
Irrigation Water-Well Drained Soil (forage crops)	0,05
Irrigation Water-All Soils (non-forage crops)	None purposed

Dalla tabella sopra riportata si evince come per qualsiasi specifica destinazione d'uso dell'acqua, la concentrazione massima ammissibile non sia mai inferiore a 0,05 mg/l.

Tale assunto è stato anche recepito nella Deliberazione della Giunta Regionale del Veneto n.1360 del 30 luglio 2013, pubblicata sul BUR n.72 del 20 agosto 2013.

Il D.Lgs. 152/06 e s.m.i. asserisce che qualora alcune sostanze non siano riportate nelle tabelle dello stesso Decreto Ministeriale *"si adottano valori di concentrazione limite accettabili riferiti alla sostanza più affine tossicologicamente".*

La normativa di base delle sostanze e dei preparati pericolosi emanata della Comunità Europea è la Direttiva 67/548/CE. La classificazione delle sostanze viene effettuata sulla base delle caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche determinate in base a metodi standard descritti dalla normativa negli allegati tecnici. Il metallo tossicologicamente più affine risulta essere il Manganese, il cui limite risulta essere di 50 µg/l.

Per quanto riguarda il Bario, altro parametro per cui non è fissato il limite nella Tabella 3, del D.Lgs 30/2009, si è considerato il valore rispettivo riportato nel D.Lgs 152/06 Tabella 1/A - Allegato 2 alla Parte Terza, che per le acque di categoria A1 derivate da corpi idrici superficiali e destinate all'uso umano prevede un limite di 0,1 mg/l, che rappresenta il valore più cautelativo rispetto a quelli riscontrabili in letteratura.

Dalla Tabella 21 – Allegato 4 D.Lgs152/99 viene derivato il valore limite della conducibilità (pari a 2.500 uS/cm a 20°C) che è utile per desumere il valore limite dei TDS nelle acque di falda.

Dati di letteratura riportano una correlazione stretta tra conducibilità e presenza di TDS per cui in genere viene ritenuta valida l'equivalenza:

TDS (ppm) : Conducibilità (uS)= 1 : 2

Molte valutazioni effettuate empiricamente portano tale valore a 1,4. Perciò considerando un limite per la conducibilità di 2.500 uS/cm si ottiene un valore di TDS pari a 1.785,714 mg/l.

Nelle "Nota integrativa della nota ISPRA n.30237 del 16.09.2010 ed ISPRA n.36365 del 31.10.2011, sull'applicazione della circolare del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare n.0014963 del 30.06.2009" si suggerisce di utilizzare il valore di 500 mg/l proposto da US EPA, che considera il parametro TDS come "secondary drinking water standard".

Nel caso del parametro Indice Fenolo nella presente analisi di rischio è considerato il limite di 5 µg/l indicato nel parere ISS del 2004 (Prot. 5558-25/03/2004)

Pertanto i limiti obiettivo di concentrazione limite al punto di conformità CL_{GW} sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 3-2: Concentrazioni limite POC (qualità acque sotterranee)

	CL_{GW}	**Riferimento normativo**
	µg/l	
DOC	10.000	*ARPAV e Nota integrativa nota ISPRA*
Cd	5	*D.Lgs 30/2009*
Cr	50	*D.Lgs 30/2009*
Cu	1.000	*D.Lgs 152/06*
Hg	1	*D.Lgs 30/2009*
Mo	50	*Ministry of Water and Air Protection della British Columbia e DGRV 1360/13*
Ni	20	*D.Lgs 30/2009*
Pb	10	*D.Lgs 30/2009*
Zn	3.000	*D.Lgs 152/06*
As	10	*D.Lgs 30/2009*
Ba	100	*Tab.1/A All.2 Parte Terza D.Lgs 152/06*
Sb	5	*D.Lgs 30/2009*
Se	10	*D.Lgs 30/2009*
Cloruri	250.000	*D.Lgs 30/2009*
Fluoruri	1.500	*D.Lgs 30/2009*
Solfati	250.000	*D.Lgs 30/2009*
Indice fenolo	0,5	*ISS prot 558-23/03/2004*
TDS	500.000	*Nota integrativa nota ISPRA – US EPA*

Per le valutazioni che si intende effettuare nella presente relazione occorre calcolare il fattore di lisciviazione LF dato da:

$$LF = \frac{SAM}{LDF} = \frac{\frac{d_d}{L_{GW}}}{\left(1 + \frac{v_{gw} \cdot \delta_{gw} \cdot W}{L_f}\right)}$$

mentre il rischio per la falda è valutato come:

$$R_{GW} = \frac{SAM}{LDF} \cdot \frac{conc.eluati}{CL_{GW}} = \frac{\frac{d_d}{L_{GW}}}{\frac{1 + (V_{gw} \cdot \delta_{gw} \cdot W)}{L_f}} \cdot \frac{conc.eluati}{CL_{GW}}$$

dove:

R_{GW} = rischio per la risorsa idrica sotterranea

CL_{GW} = concentrazione limite in corrispondenza del punto di conformità

SAM = coefficiente di attenuazione nel suolo non saturo (Soil Attenuation Model) che tiene conto del percorso che l'inquinante fa per raggiungere il piano di falda.

LDF = fattore di diluizione (Leachate Diluition Factor) che tiene conto della diluizione che il contaminante subisce una volta una volta raggiunto il piano falda nel passaggio tra il terreno insaturo e il terreno saturo.

L_{GW} = soggiacenza della falda rispetto al p.c.

d_d = profondità del piano di posa della discarica rispetto al p.c.

V_{gw} = velocità darciana dell'acquifero = K_{SAT} * i = (con K_{SAT} = conducibilità idraulica saturo, i= gradiente idraulico falda)

δ_{gw} = spessore dello strato di mescolamento nell'acquifero

W = larghezza della sorgente perpendicolare alla direzione di falda

L_f = flusso di percolato che fuoriesce dal fondo della discarica e viene trasportato nella zona non satura fino all'acquifero

Per il calcolo di **δ_{gw}** (=d_a) si considera la formula a pag. 65 del Manuale di Rome 2.1 (ISPRA):

$$d_a = \left(0{,}0112 \cdot L^2\right)^{0,5} + d \cdot \left\{1 - \exp\left[\left(-L \cdot I\right)/\left(K \cdot i \cdot d\right)\right]\right\}$$

dove:

d = spessore dell'acquifero

K = conducibilità idraulica

i = gradiente idraulico

d_a = spessore della zona di miscelazione in falda

I = infiltrazione efficace

L = lunghezza della sorgente parallela alla direzione del flusso di falda.

Per quanto riguarda il flusso di percolato attraverso i materiali minerali presenti nella barriera di fondo dei depositi controllati, esso viene calcolato mediante la legge di Darcy, in condizioni stazionarie, considerando l'intero strato omogeneo e isotropo. L'effetto delle eterogeneità presenti e di altri eventuali difetti, quali ad esempio fratture che costituiscono delle vie preferenziali di flusso, potrebbe essere rappresentato da un'idonea distribuzione di probabilità per la conducibilità idraulica di tale strato, qualora si impieghi il metodo Monte Carlo.

Si utilizza, pertanto, la seguente equazione di Darcy:

$$L_f = K_i \cdot i_f \cdot A_f$$

con

$$i_f = \frac{h_{perc} + d_i}{d_i}$$

dove:

L_f = flusso di percolato che attraversa lo strato minerale, espresso in m^3/s;

K_i = conducibilità idraulica dello strato minerale, espressa in m/s;

A_f = superficie del fondo del bacino, espressa in m^2;

i_f = gradiente idraulico verticale, adimensionale, calcolato mediante l'espressione sopra riportata, una volta noti lo spessore dello strato minerale attraversato d_i ed il livello dello strato di percolato sul fondo della discarica (h_{perc} espresso in m).

La stima della quantità d'acqua infiltrata si ricava dalla seguente equazione:

$$I_{ef_cop(sand)} = 0{,}0018 \cdot P^2 \cdot a$$

Il valore P è la piovosità annua espressa in cm.

Il manuale, per il valore ***a***, considera valori tra diversi in funzione del tipo di copertura finale; nel caso in oggetto i valori attendibili sono 0,05 in caso di copertura con strato di terreno, strato di drenaggio, geomembrana ed argilla (1m) oppure 0,25 in caso di copertura con strato di terreno, strato di drenaggio ed argilla (1m), fino ad arrivare a 0,7 nel caso con copertura con solo strato di terreno (>30 cm).

Per il flusso di percolato attraverso i materiali artificiali presenti nella barriera di fondo, si assume invece che il percolato passi attraverso i difetti presenti (buchi, strappi, lacerazioni) e si considera la seguente equazione sperimentale per il calcolo dell'infiltrazione del percolato [Giroud et al; 1992]:

$$L'_f = C_d \cdot i_{av} \cdot h_{perc}^{0,9} \cdot a^{0,1} \cdot K_r^{o,74}$$

dove:

L'_f è il flusso di percolato che passa attraverso i difetti della geomembrana; espresso in m^3/s;

C_d è una costante adimensionale che descrive la qualità del contatto tra la geomembrana e lo strato sottostante. Giroud et al. (1992) propone due valori per tale costante: 0,21 nel caso di un buon contatto e 1,15 nel caso di un pessimo contatto. Tuttavia, la qualità del contatto varia anche in virtù della natura dei rifiuti presenti, oltre che del materiale sottostante;

h_{perc} è l'altezza del livello di percolato al di sopra della geomembrana; espresso in m;

i_{av} è il gradiente idraulico medio verticale, adimesionale. Giroud et al. [1992] propone la seguente espressione per il calcolo di i_{av}, dove d_{unsat} è lo spessore del materiale non saturo (espresso in m) al di sotto della geomembrana:

$$i_{av} = 1 + 0{,}1 \cdot \left(\frac{h_{perc}}{d_{unsat}} \right)^{o,95}$$

Nella maggioranza dei casi, e comunque in tutti i casi laddove il livello del percolato al di sopra della geomembrana è molto più piccolo dello strato di materiale non saturo sottostante, il gradiente idraulico medio verticale può essere approssimato ad 1.

a è l'area dei difetti presenti (fori, buchi e strappi), espressa in m^2;

K_{unsat} è la conducibilità idraulica del materiale non saturo al di sotto della geomembrana e a diretto contatto con questa, espressa in m/s.

Per il calcolo del rischio falda è necessario usare il prodotto tra L_f e L'_f.

3.2. Calcolo del rischio falda

La quantità d'acqua infiltrata è stimata in:

$$I_{ef_cop(sand)} = 0{,}0018 \times P^2 \times a = 21{,}86\ cm/anno$$

dove:

P = 1.317,25 mm/anno = 131,73 cm/anno

a = 0,7 (questo valore è un numero compreso tra i valori APAT/ISPRA 0,05 e 0,7 definito in base al pacchetto di copertura della discarica) per cui è stato preso il valore in assoluto più cautelativo che corrisponde alla copertura con solo terreno, mentre nel caso dl deposito di servizio è presente anche uno strato di drenaggio superficiale ed uno di argilla.

Per la quantità del flusso di percolato che attraversa il fondo si utilizza il prodotto tra L_f e L'_f.

$$L_f = K_i \times i_f \times A_f \qquad \text{con} \qquad i_f = \frac{h_{perc} + d_i}{d_i}$$

dove:

K_i	1,00E-09	m/sec
h_{perc}	0,218645191	m
d_i	0,5	m
i_f	1,437290381	adim.
A_f	9400	mq
L_f	1,3511E-05	mc/sec

I valori K_i e d_i utilizzati sono quelli del pacchetto di impermeabilizzazione del fondo.

Il valore h_{perc} utilizzato nelle due equazioni è stato calcolato a partire dall'I_{ef_cop} adeguando le unità di misura e considerando che sul fondo della discarica si raccolga l'intera produzione annua di percolato. Il valore di h_{perc} su un anno è altamente cautelativo perché le operazioni di svuotamento saranno effettuate con frequenza superiore in relazione alla produzione.

Il valore A_f è stato calcolato in base alle dimensioni del fondo della discarica.

$$L'_f = C_d \cdot i_{av} \cdot h_{perc}^{0,9} \cdot a^{0,1} \cdot K_r^{o,74} \qquad \text{con} \qquad i_{av} = 1 + 0{,}1 \cdot \left(\frac{h_{perc}}{d_{unsat}} \right)^{o,95}$$

dove:

C_d	1,15	adim
K_r	1,64E-04	m/sec
d_{unsat}	9,28	m
i_{av}	1,002841727	adim.
a	94	mq
L'_f	0,000731128	mc/sec

Il valore C_d è stato preso pari al valore più conservativo proposto da APAT/ISPRA.

Il valore K_r è la media dei valori della conducibilità idraulica del terreno al di sotto della discarica. Tali prove sono state effettuate da Nuova Geotesting S.n.c. nel 2009 nel sondaggio PN6.

Il valore d_{unsat} è stato ricavato dalla differenza tra L_{GW} e d_d (si veda calcolo SAM).

Il valore "a" è stato calcolato stimando l'1% di difetti attraverso i materiali artificiali presenti nella barriera di fondo A_f.

Il valore di L_f che verrà usato nella formula relativa al calcolo del rischio falda è pari a **8,08E-09 mc/sec**, **cioè al prodotto tra L_f e L'_f.**

Per il calcolo del fattore di lisciviazione è necessario stimare LDF e SAM:

Stima LDF:

K_{sat}	1,50E-04	m/sec
i	0,006	adim.
W	100	m
$V_{gw} = K_{sat} * i$	9,00E-07	m/sec
δ_{gw}	14,2744951	m
LDF	1,30E+03	

Il valore K_{sat} è il valore misurato da Nuova Geotesting S.n.c. nel 2009 nel sondaggio PN8.

Il valore i (gradiente idraulico) è quello misurato ai fini della predisposizione della relazione geologica.

Il valore W è stato calcolato in base alle dimensioni del bacino perpendicolari alla direzione di falda.

Per il calcolo dello spessore della zona di miscelazione δ_{gw} (=d_a) si considera la formula del Manuale di Rome:

$$d_a = \left(0{,}0112 \cdot L^2\right)^{0,5} + d \cdot \left\{1 - \exp\left[\left(-L \cdot I\right)/\left(K \cdot i \cdot d\right)\right]\right\}$$

dove:

d = 30 m (spessore dell'acquifero ricavato dalla relazione della Nuova Geotesting S.n.c. del 2009)

K = K_{sat} = 1,50E^{-04} m/sec

i = 0,006

I = I_{ef_cop} = 23,15 cm/anno = 23,15 x 3,1536 x 10^{-9} m/sec = 73,00 x 10^{-9} m/s

W= *L* = 100 m

Stima SAM:

La formula utilizzata per il calcolo del SAM è quella del Manuale APAT/ISPRA "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio alle discariche".

d_d	**5**	m
L_{GW}	**14,28**	m
SAM	**0,350140056**	

Il valore d_d indica la profondità rispetto al p.c. del piano di posa del fondo del bacino.

Il dato L_{GW} è stato preso pari al valore minore di soggiacenza dei pozzi piezometrici di monitoraggio, tra tutte le misure effettuate, in tutto il periodo considerato dall'inizio dei monitoraggi, livello che rappresenta una condizione estremamente cautelativa in cui porsi per l'analisi di rischio.

Il valore del fattore di lisciviazione risulta pertanto pari a:

$$LF = \frac{SAM}{LDF} = \frac{0{,}3501}{1300} = 2{,}69 \times 10^{-4}$$

Applicando la seguente formula alle concentrazioni $C_{acc(acque\ sotterranee)}$ poste pari ai limiti di qualità delle acque sotterranee illustrate nella precedente Tabella 3-2 si ottengono i valori limite di Concentrazione accettabile nel deposito riportate in Tabella 3-3:

$$C_{acc(deposito)} = \frac{C_{acc(acquesotterranee)}}{LF}$$

Tabella 3-3: Concentrazioni massime accettabili in nel deposito $C_{acc(deposito)}$

	$C_{acc(acqsott)}$	LF	$C_{acc(deposito)}$	$C_{acc(deposito)}$
	µg/l		µg/l	mg/l
DOC	10.000	2,69E-04	37.173.160,37	37.173,16
Cd	5	2,69E-04	18.586,58	18,59
Cr	50	2,69E-04	185.865,80	185,87
Cu	1.000	2,69E-04	3.717.316,04	3.717,32
Hg	1	2,69E-04	3.717,32	3,72
Mo	50	2,69E-04	185.865,80	185,87
Ni	20	2,69E-04	74.346,32	74,35
Pb	10	2,69E-04	37.173,16	37,17
Zn	3.000	2,69E-04	11.151.948,11	11.151,95
As	10	2,69E-04	37.173,16	37,17
Ba	100	2,69E-04	371.731,60	371,73
Sb	5	2,69E-04	18.586,58	18,59
Se	10	2,69E-04	37.173,16	37,17
Cloruri	250.000	2,69E-04	929.329.009,36	929.329,01
Fluoruri	1.500	2,69E-04	5.575.974,06	5.575,97
Solfati	250.000	2,69E-04	929.329.009,36	929.329,01
Fenolo	0,5	2,69E-04	1.858,66	1,86
TDS	0,5	2,69E-04	1.858.658.018,72	1.858.658,02

Queste concentrazioni nel percolato rappresenterebbero quindi la soglia oltre la quale il rischio per la qualità delle acque di falda non sarebbe accettabile.

Poiché l'ammissibilità dei rifiuti nel deposito non può essere determinata a priori sulla qualità reale del percolato che essi produrranno a posteriori, occorre definire dei valori legati al test di cessione effettuabile sulle partite di rifiuti in ingresso con esami di laboratorio.

Non sempre esiste una correlazione diretta tra risultati di un test di cessione su una partita di rifiuto e la qualità del percolato che essa produrrà all'interno del corpo del bacino.

Il test di cessione condotto secondo le norme standard di riferimento rappresenta infatti unicamente un metodo di prova convenzionale per valutare la capacità di cessione di determinati contaminanti in acqua, ma può non rappresentare un modello preciso del reale comportamento dei un rifiuto una volta posto a dimora definitiva.

La capacità effettiva di cessione di un rifiuto in discarica dipende infatti da numerosissimi fattori, molti dei quali non sono determinabili attraverso le analisi preliminari di Laboratorio, quali ad esempio:

- la solubilità dei contaminanti e la loro capacità di formare composti e complessi (solubili e non) con altre sostanze presenti;
- il potenziale redox del mezzo all'interno del deposito;
- il bilancio idrico effettivo del deposito;
- i fattori legati allo stato fisico del rifiuto deposto in deposito, quali la granulometria, la porosità, la capacità di ritenzione/assorbimento dei liquidi;
- il pH del percolato e la capacità tampone del rifiuto;
- l'interazione (dipendente dal tempo e dall'entità dell'esposizione) del rifiuto con agenti atmosferici e le conseguenti reazioni (idratazione, ossidazione, carbonatazione, ecc.);
- la quantità e la qualità della sostanza organica presente nei rifiuti posti a dimora nel deposito, che almeno nel caso bacino di servizio alla bonifica ex Afim è trascurabile;
- ecc..

In buona sostanza non è possibile prevedere esattamente, a partire dai risultati del test di cessione secondo le norme standard prescritte dalle leggi applicabili, la qualità del percolato proveniente dal deposito; però tale metodo rimane l'unico accettabile per definire criteri oggettivi di ammissibilità di un rifiuto ad un impianto dimora permanente. A supporto di tale metodo vi sono i numerosi esempi impianti di discarica anche gestiti con deroga ai limiti secondo l'art.7 o l'art.10 del Dm 27.09.2010 e s.m.i. in cui, il rispetto dei limiti negli eluati del test di cessione per esse stabiliti, ha sempre comportato una conformità della qualità delle acque di falda nei pressi degli impianti, dimostrando quindi l'accettabilità del rischio e la fondatezza del metodo.

Nella seguente Tabella 3-4 vengono riportati i valori massimi delle concentrazioni dei vari parametri ricavati analizzando tutti i numerosi certificati sui test di cessione a cui sono stati sottoposti nel tempo vari campioni provenienti dalle varie aree di bonifica della ex AFIM.

I valori di Tabella 3-4 sono largamente inferiori a quelli che si potrebbe presumere di ritrovare nel percolato del bacino di servizio della bonifica ex Afim, ottenibile partendo dai dati relativi ai test di cessione effettuati sui vari campioni.

Tabella 3-4: Concentrazioni massime rilevate nei test di cessione)

Parametro test di cessione	Valore max (mg/l)
DOC	44,4
Cadmio	0,002
Cromo totale	0,67
Rame	0,081
Mercurio	0,001
Molibdeno	1,1
Nichel	0,01
Piombo	0,18
Zinco	0,089
Arsenico	0,02
Bario	0,26
Antimonio	0,04
Selenio	0,05
Cloruri	495
Fluoruri	6,2
Solfati	652
Indice Fenolo	0,09
TDS	100

Nella seguente Tabella 3-5 si mettono a confronto i massimi valori di concentrazione rilevati nei test di cessione per i singoli parametri con i valori di accettabilità nel bacino e ne viene calcolato il relativo rapporto.

Il valore più elevato è 4,84% dell'indice di fenolo, mentre si ritrovano valori pari a 0,0008% per lo zinco, 0,002% per il rame, 0,36% per il cromo totale, 0, 59% del molibdeno ed 0,48% per il piombo, metalli che rappresentano quelli ritrovati in massima concentrazione nei rifiuti della ex Afim.

Per quanto un test di cessione non possa ritenersi completamente rappresentativo della qualità di un percolato derivato da un mix di rifiuti, le enormi differenze tra le concentrazioni misurate e quelle ritenute accettabili all'interno del bacino riguardo il rischio di tutela della falda fanno certamente supporre che i rifiuti presenti nell'area della ex AFIM non generino un percolato che possa costituire un rischio per l'ambiente e quindi possano essere ammessi a dimora nel previsto bacino di servizio della bonifica.

Tabella 3-5: Confronto tra le concentrazioni massime rilevate nei test di cessione) e le concentrazioni massime ammissibili nel deposito

	concentrazione eluati	C acc discarica	Rapporto
parametro	**mg/l**	**mg/l**	**%**
DOC	44,4	37.173,16	0,12%
Cadmio	0,002	18,59	0,01%
Cromo totale	0,67	185,87	0,36%
Rame	0,081	3.717,32	0,002%
Mercurio	0,001	3,72	0,03%
Molibdeno	1,1	185,87	0,59%
Nichel	0,01	74,35	0,01%
Piombo	0,18	37,17	0,48%
Zinco	0,089	11.151,95	0,0008%
Arsenico	0,02	37,17	0,05%
Bario	0,26	371,73	0,07%
Antimonio	0,04	18,59	0,22%
Selenio	0,05	37,17	0,13%
Cloruri	495	929.329,01	0,05%
Fluoruri	6,2	5.575,97	0,11%
Solfati	652	929.329,01	0,07%
Indice Fenolo	0,09	1,86	4,84%
TDS	100	1.858.658,02	0,01%

I risultati sopra proposti sono stati ricavati applicando direttamente le formule presenti nel Manuale sui Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio alle discariche di APAT/ISPRA ed utilizzando un semplice foglio di calcolo.

Per una verifica dei risultati è stato anche utilizzato il software Leach8 sviluppato da Reconnet, la Rete Nazionale sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati, ideata e costruita dal Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Roma "Tor Vergata", e nata da un accordo tra Università, Istituti di Ricerca ed Agenzie Ambientali, con l'obiettivo di fornire un contributo alla soluzione alle principali criticità di carattere tecnico e normativo alla gestione e bonifica dei siti contaminati, incoraggiando la collaborazione e promuovendo i contatti e gli scambi di informazioni tra enti di ricerca, enti di controllo ed imprese.

Il software Leach8 alimentato con i dati costruttivi del deposito e sito specifici dei terreni nel suo intorno, è in grado di valutare in modalità "Analisi forward – diretta" il rischio della falda relativo ad un mix di contaminanti presenti nel percolato ed in modalità "Analisi backward – inversa" i limiti massimi accettabili.

I dati alimentati nel modello sono i seguenti:

Tabella 3-6: Dati di input alimentati al software Leach8

Caratteristiche sito		?	Valori di default	
Superficie di fondo della discarica		A_f	8.900	m^2
Profondità punto di emissione percolato rispetto p.c.		d_d	5	m
Estensione discarica nella direzione del flusso di falda		W	126	m
Estensione discarica nella direzione ortogonale al flusso		S_w	100	m
Soggiacenza Falda		L_{GW}	14,28	m
Gradiente Idraulico Falda		i	6,00E-03	m/m
Conducibilità Idraulica Falda	--- CUSTOM ---	K_{sat}	1,50E-04	m/s
Spessore acquifero		d_a	30	m
Dispersività verticale	☑ Calcolato	α_v	*6,30E+01*	cm
Spessore di miscelazione	☑ Calcolato	δ_{gw}	*1,26E+01*	m

Strato minerale				
Conducibilità Idraulica		K_r	1,0E-09	m/s
Altezza percolato sul fondo della discarica		h_{perc}	0,231544071	m
Spessore strato minerale		d_{unsat}	0,50	m
Gradiente idraulico medio verticale	☑ Calcolato	i_{av}	*1,05*	m
Materassino bentonitico				
☐ Presenza materassino bentonitico (non valido per strato drenante)				
Conducibilità Materiale bentonico		K_B	5,00E-11	m/s
Spessore materassino bentonico		s_B	NA	m
Conducibilità equivalente (argilla + materassino)	?	K_{eq}	*NA*	m/s
Geomembrana	☑ Geomembrana presente			
Difetti Geomembrana			area difetti	num. difetti
APAT (2005)			m^2/ettaro	# /ettaro
Microfori			5,00E-06	25
Fori			1,00E-04	5
Strappi			1,00E-02	2
Costante qualità contatto	Cattivo Contatto	Cd	*1,15E+00*	-

Le ipotesi considerate sono dientiche a quelle del modello precedentemente considerato. L'altezza del percolato h_{perc} è pari al medesimo valore indicato nelle Tabelle di calcolo di L_f eL'_f. I risultati dei calcoli effettuati dal modello sono presentati qui di seguito:

Tabella 3-7: Dati di output calcolati dal software Leach8

Leach8 Oasi Nave Default NP.xls

Percolato in uscita dalla discarica		
☐ Inserisci Dato Sito-specifico		
Flusso di percolato in uscita dalla discarica (L_f)	2,11E+01	m^3/anno
Infiltrazione efficace attraverso il fondo della discarica (Ief)	2,37E-03	m/anno
Attenuazione Percolato		
Fattore di diluizione (LDF)	1,70E+03	-
Soil Attenuation Model (SAM) ? ☑ Considera SAM	3,50E-01	-
Fattore di attenuazione (LF) ?	2,06E-04	mg/L / mg/L

Tipologia Discarica →	Rifiuti non pericolosi (Tab. 5a-SNR)

Selezione contaminanti

Seleziona Tutti	Deseleziona Tutti	Derogabilità (art. 10)
☑ Arsenico	☑ Molibdeno	☑ Cloruri
☑ Bario	☑ Nichel	☑ Floruri
☑ Cadmio	☑ Piombo	☑ Solfati
☑ Cromo Totale	☑ Antimonio	☑ DOC
☑ Rame	☑ Selenio	☑ Solidi Disciolti (TDS)
☑ Mercurio	☑ Zinco	☑ Indice Fenolo

Le leggere differenze nel calcolo di LDF, e quindi di LF, sono dovute a differenti approssimazioni e ad un limitato numero di decimali di Leach8 rispetto al foglio di calcolo.

Applicando il coefficiente di diluizione calcolato alle concentrazione massima degli eluati misurate per ogni singolo parametro dai campioni provenienti dalla ex Afim si ottengono in modalità diretta Analisi forward i seguenti risultati:

Tabella 3-8: Dati di output calcolati dal software Leach8 in modalità Analisi forward (falda)

					DAF3	
					POC* (m)	1
Dati di Input contaminanti target			Output POC = 0		Output POC > 0	
Contaminanti target	Inserisci concentrazione nell'eluato	Concentrazione limite in falda	Concentrazione attesa in falda	Rischio Risorsa Idrica (Rgw)	Concentrazione attesa in falda	Rischio Risorsa Idrica (Rgw)
	mg/L	mg/L	mg/L	-	mg/L	-
Arsenico	0,02	1,00E-02	4,12E-06	4,12E-04	4,12E-06	4,12E-04
Bario	0,26	1,00E-01	5,36E-05	5,36E-04	5,36E-05	5,36E-04
Cadmio	0,002	5,00E-03	4,12E-07	8,25E-05	4,12E-07	8,25E-05
Cromo totale	0,67	5,00E-02	1,38E-04	2,76E-03	1,38E-04	2,76E-03
Rame	0,081	1,00E+00	1,67E-05	1,67E-05	1,67E-05	1,67E-05
Mercurio	0,001	1,00E-03	2,06E-07	2,06E-04	2,06E-07	2,06E-04
Molibdeno	1,1	5,00E-02	2,27E-04	4,54E-03	2,27E-04	4,54E-03
Nichel	0,01	2,00E-02	2,06E-06	1,03E-04	2,06E-06	1,03E-04
Piombo	0,18	1,00E-02	3,71E-05	3,71E-03	3,71E-05	3,71E-03
Antimonio	0,04	5,00E-03	8,25E-06	1,65E-03	8,25E-06	1,65E-03
Selenio	0,05	1,00E-02	1,03E-05	1,03E-03	1,03E-05	1,03E-03
Zinco	0,089	3,00E+00	1,83E-05	6,12E-06	1,83E-05	6,12E-06
Cloruri	495	2,50E+02	1,02E-01	4,08E-04	1,02E-01	4,08E-04
Fluoruri	6,2	1,50E+00	1,28E-03	8,52E-04	1,28E-03	8,52E-04
Solfati	652	2,50E+02	1,34E-01	5,38E-04	1,34E-01	5,38E-04
DOC	44,4	1,00E+01	9,15E-03	9,15E-04	9,15E-03	9,15E-04
TDS	100	5,00E+02	2,06E-02	4,12E-05	2,06E-02	4,12E-05
Indice Fenolo	0,09	5,00E-04	1,86E-05	3,71E-02	1,86E-05	3,71E-02

Da cui si ricava che il rischio per le acque di falda è abbondantemente inferiore ad 1 (= limite di accettabilità) per ogni singolo paramento, così come lo è la sommatoria complessiva.

Il valore di rischio più elevato è infatti relativo all'indice di fenolo con un valore Rgw pari a $3,71^{-02}$, mentre il rischio per tutti gli altri parametri va dall'ordine di 10^{-3} a 10^{-5}.

Anche in questo caso, se pur il singolo test di cessione non può considerarsi esaurientemente rappresentativo della qualità di un percolato, i valori di concentrazione nell'eluato danno una concentrazione attesa in falda così distante dai limiti ammissibili (e quindi dal rischio associato) che sicuramente anche il percolato prodotto da tali rifiuti rientra nei limiti di accettabilità del rischio.

3.3. Valutazione delle massime concentrazioni dei parametri in relazione alle deroghe (art.10) o alle sottocategorie (art.7) dei limiti di Tabella 5a DM 27.09.2010

Nel presente paragrafo si vuole procedere alla definizione di valori limite di concentrazione in deroga per il test di cessione che siano in grado di garantire un rischio ampiamente accettabile, si è applicata l'analisi inversa Backward del software Leach8, con cui vengono calcolate dal modello le concentrazioni massime ammissibili nel bacino per ogni parametro affinché il rischio risulti accettabile. Tali valori risultano in linea con quelli evidenziati nella Tabella 3-3 e le cui minime differenze sono dovute alle già citate approssimazioni nel calcolo di LDF e di LF.

Tabella 3-9: Dati di output calcolati dal software Leach8 in modalità Analisi backward (deroghe)

Rifiuti non pericolosi (Tab. 5a-SNR)

Contaminante	Cacc discarica (AdR)	Tab. 5a - DM 27/09/2010	Deroga Applicabile Art. 10		Sottocategorie Art. 7	
	mg/L	mg/L	mg/L	Note	mg/L	Note
Arsenico	4,85E+01	2,00E-01	6,00E-01	3vv Tab. 5a (art. 10)	4,85E+01	Cacc AdR
Bario	4,85E+02	1,00E+01	3,00E+01	3vv Tab. 5a (art. 10)	4,85E+02	Cacc AdR
Cadmio	2,43E+01	1,00E-01	3,00E-01	3vv Tab. 5a (art. 10)	2,43E+01	Cacc AdR
Cromo totale	2,43E+02	1,00E+00	3,00E+00	3vv Tab. 5a (art. 10)	2,43E+02	Cacc AdR
Rame	4,85E+03	5,00E+00	1,50E+01	3vv Tab. 5a (art. 10)	4,85E+03	Cacc AdR
Mercurio	4,85E+00	2,00E-02	6,00E-02	3vv Tab. 5a (art. 10)	4,85E+00	Cacc AdR
Molibdeno	2,43E+02	1,00E+00	3,00E+00	3vv Tab. 5a (art. 10)	2,43E+02	Cacc AdR
Nichel	9,70E+01	1,00E+00	3,00E+00	3vv Tab. 5a (art. 10)	9,70E+01	Cacc AdR
Piombo	4,85E+01	1,00E+00	3,00E+00	3vv Tab. 5a (art. 10)	4,85E+01	Cacc AdR
Antimonio	2,43E+01	7,00E-02	2,10E-01	3vv Tab. 5a (art. 10)	2,43E+01	Cacc AdR
Selenio	4,85E+01	5,00E-02	1,50E-01	3vv Tab. 5a (art. 10)	4,85E+01	Cacc AdR
Zinco	1,46E+04	5,00E+00	1,50E+01	3vv Tab. 5a (art. 10)	1,46E+04	Cacc AdR
Cloruri	1,00E+06	1,50E+03	4,50E+03	3vv Tab. 5a (art. 10)	1,00E+06	Cacc AdR
Fluoruri	7,28E+03	1,50E+01	4,50E+01	3vv Tab. 5a (art. 10)	7,28E+03	Cacc AdR
Solfati	1,00E+06	2,00E+03	6,00E+03	3vv Tab. 5a (art. 10)	1,00E+06	Cacc AdR
DOC	4,85E+04	8,00E+01	NA	Non Derogabile	4,85E+04	Cacc AdR
TDS	1,00E+06	6,00E+03	1,80E+04	3vv Tab. 5a (art. 10)	1,00E+06	Cacc AdR
Indice Fenolo	NC		NA	Non Applicabile	NA	Non Applicabile

** E' possibile servirsi dei valori per il TDS (Solidi disciolti totali) in alternativa ai valori per i solfati e per i cloruri (DM 27/09/2010).*

Nella stessa Tabella 3-9 vengono riportati i limiti di accettabilità di cui alla tab.5a del DM 27.09.2010 e s.m.i. per i rifiuti pericolosi stabili non reattivi e i limiti derogabili secondo quanto previsto dall'art.10 del medesimo decreto (in genere 3 volte i limiti previsti dalla Tab.5a) e quelli ammissibili secondo le sottocategorie di cui all'art.7 (che evidentemente coincidono con le $C_{acc\text{-}deposito}$).

I valori misurati negli eluati sui campioni della ex Afim hanno peraltro sempre rispettato i limiti di Tab.5a , tranne che in due casi per il parametro molibdeno, con un valore di 1,1 mg/l contro il limite di 1,0 mg/l previsto in Tab.5a riguardanti, d'altro canto, rifiuti non più presenti in sito. Tale valore rientra comunque abbondamìntemente nei limiti di cui all'art.10.

4 ANALISI DI RISCHIO APPLICATA ALL'AREA 3 CONSIDERANDO IL MATERIALE COME TERRENO CONTAMINATO

4.1. Analisi di rischio applicata ai "terreni" dell'Area 3 nella situazione attuale

Come già anticipato in premessa, ad ulteriore supporto della tesi presentata nel Capitolo 3 della presente relazione sull'accettabilità del rischio associata all'impianto di messa in sicurezza permanente (discarica di servizio) proposto per la bonifica ex Afim per la messa a dimora dei rifiuti presenti nell'area senza bisogno di pretrattamenti, viene presentata un'analisi di rischio, semplificata alle sole vie attive legate al rischio per la falda, considerando i materiali presenti nel sottosuolo dell'Area 3 come terreni contaminati e non rifiuti, adottando come valore di ciascun singolo parametro il massimo valore per quel parametro rilevato in tutte le fasi della caratterizzazione e della bonifica in qualunque area della ex Afim (non solo Area 3), che ancora necessita un intervento per il raggiungimento degli obiettivi di bonifica.

L'impronta dell'area contaminata considerata, per consentire un confronto diretto, è pari a quella del bacino della discarica di servizio esaminata nei paragrafi precedenti, quindi una dimensione di 159 metri nella direzione parallela al Torrente Garza, 85 metri nella direzione ad esso perpendicolare e 5 metri di profondità.

Per il set di contaminanti si sono considerati i valori massimi derivati dalla fase di caratterizzazione del 2003 / 2004 o dalle analisi successive effettuata ad integrazione di tale caratterizzazione. I dati sono relativi non solo all'Area 3 ma anche a tutte le aree che necessitano ancora un intervento per il raggiungimento degli obiettivi di bonifica. Vengono considerati i parametri relativi agli inquinanti più rappresentativi presenti nel "suolo superficiale" (tra 0 ed 1 m di profondità da p.c.) e nel "suolo profondo (cioè > 1metro da piano campagna) nell'area ex Afim ed in particolare i seguenti: cadmio, cromo totale, nichel, piombo, rame, zinco, ed idrocarburi C>12

Il set di concentrazioni considerato, che rappresentano la Concentrazione Rappresentativa della Sorgente (CRS) è riportato nelle seguenti Tabelle:

Tabella 4-1: Concentrazione Rappresentativa della Sorgente di contaminazione- suolo superficiale

SUOLO SUPERFCIALE (da 0 ad 1 m da p.c.)		
Contaminante	**Concentrazioni massime (mg/kg)**	**Campione e profondità di riferimento**
cadmio	255	SE06/2003 profondità 50-70 cm
cromo	2.462	SG09/2003 profondità 0-20 cm
nichel	1.574	SE21/2003 profondità 0-20 cm
piombo	33.908	SE06/2003 profondità 50-70 cm
rame	12.464	SE21/2003 profondità 0-20 cm
zinco	47.487	SE06/2003 profondità 50-70 cm
idrocarburi C>12	45.198	SE06/2003 profondità 50-70 cm

Tabella 4-2: Concentrazione Rappresentativa della Sorgente di contaminazione- suolo profondo

SUOLO PROFONDO (da 1 a 6 m da p.c.)		
Contaminante	**Concentrazioni massime (mg/kg)**	**Campione e profondità di riferimento**
cadmio	439	SE09/2003 profondità 100-120 cm
cromo	12.936	SG09/2003 profondità 280-300 cm
nichel	655	SE06/2003 profondità 150-170 cm
piombo	18.074	SE06/2003 profondità 340-360 cm
rame	3.146	SE06/2003 profondità 340-360 cm
zinco	21.799	SE09/2003 profondità 100-120 cm
idrocarburi C>12	3.359	SE06/2003 profondità 150-170 cm

Nella scelta dei valori massimi delle CRS sono state effettuate le considerazioni:

- Per il cadmio ed il piombo il campione SE09/2003 prelevato ad una profondità di 100-120 cm da p.c., a cavallo quindi tra lo strato superficiale e lo strato profondo, rappresenterebbe la massima concentrazione dello strato profondo considerando rigidamente che tutto quello che si trova al di sotto del metro di profondità dal piano campagna, anche di pochi centimetri, appartenga al suolo profondo. Analizzando le concentrazioni relative allo strato profondo derivate da campioni provenienti da sondaggi differenti si evince che per il cadmio esistono altre concentrazioni simili, seppure leggermente inferiori, ai 439 mg/kg del campione prelevato da SE09/2003 aduna profondità 100-120 cm, che pertanto viene preso come $CRS_{stratoprofondo_Cd}$. Per il piombo, invece, il valore di 29.284 mg/kg, prelevato da SE09/2003 ad una profondità 100-120 cm, trova valori analoghi (ed anche leggermente superiori) nel solo strato superficiale la cui $CSR_{stratosuperficiale_Pb}$ è rappresentata dal valore più elevato di 33.908 mg/kg del campione SE06/2003 ad una profondità di 50-70 cm da p.c. Per lo strato profondo ($CSR_{stratoprofondo_Pb}$) si è utilizzato di 18.087 mg/kg del campione prelevato da SE06/2003 ad una profondità di 340-360 cm da p.c. che rappresenta il valore più elevato tra concentrazioni diffuse e simili nei valori, appartenenti allo strato profondo;
- Per quanto riguarda gli idrocarburi, non è stata a suo tempo effettuata alcuna speciazione secondo la classificazione MADEP o TPH, ma è stata semplicemente adottata la dicitura C>12. Poiché nel modello dell'analisi di rischio deve essere specificata la suddivisione in classi di ciascun idrocarburo, non avendo a disposizione tale speciazione, è stata attribuita l'intera concentrazione alla classe potenzialmente più impattante per il rischio falda, cioè gli alifatici C>12-16.

Per i calcoli relativi all'analisi di rischio è stato utilizzato il software RiskNet Pro 3.1 del novembre 2018 sviluppato da Reconnet, la Rete Nazionale sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati, ideata e costruita dal Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Roma "Tor Vergata".

Nel modello sono stati alimentati i dati sito specifici presentati nei paragrafi precedenti della presente relazione con la semplificazione di adottare nel modello concettuale come "vie attive" solamente quelle legate alla lisciviazione ed al trasporto in falda, stante lo scopo di confronto con i risultati dell'Analisi di rischio sulla discarica di servizio presentata nel Capitolo 3.

Figura 4-1- Vie attive nel modello concettuale semplificato adottato per l'analisi di rischio applicata all'Area 3 considerando i materiali presenti come terreni e non come rifiuti

I contaminanti e le relative concentrazioni utilizzate come CRS sono riportate nelle precedenti Tabella 4-1 e Tabella 4-2.

Per la definizione dei ricettori è stata considerata la destinazione "commerciale/industriale" e quindi il "lavoratore adulto on site". I parametri di esposizione sono quelli di default indicati nei Criteri di applicazione dell'Analisi di Rischio ai terreni contaminati di APAT/ISPRA del 2008 e precisamente:

Tabella 4-3: Parametri di esposizione adottati (valori di default – Manuale APAT/ISPRA)

Fattori di esposizione

on-site

Fattori di esposizione — Default | Copia tabella | Help

Esposizione			On Site				
Ambito			Residenziale				Industriale
Parametri di esposizione	Simbolo	UM	Bambini	Adolescenti	Adulti	Anziani	Lavoratore
Fattori Comuni							
Peso Corporeo	BW	kg	15		70		70
Tempo di mediazione cancerogeni	AT	y	70				
Durata di esposizione	ED	y	6		24		25
Frequenza di esposizione	EF	d/y	350		350		250
Ingestione di suolo							
Frazione di suolo ingerita	FI	-	1		1		1
Tasso di ingestione suolo	IR	mg/d	200		100		50
Contatto Dermico							
Superficie di pelle esposta	SA	cm²	2800		5700		3300
Fattore di aderenza dermica	AF	mg/cm²/d	0,2		0,07		0,2
Inalazione di vapori e polveri outdoor							
Frequenza giornaliera outdoor (c)	EFgo	h/d	24		24		8
Tasso di inalazione di vapori e polveri outdoor (a);(b)	Bo	m³/h	0,7		0,9		2,5
Frazione di suolo nella polvere outdoor	Fsd	-	1		1		1
Inalazione di vapori e polveri indoor							
Frequenza Giornaliera Indoor	EFgi	h/d	24		24		8
Tasso di inalazione di vapori e polveri indoor (b)	Bi	m³/h	0,7		0,9		0,9
Frazione di suolo nella polvere indoor	Fi	-	1		1		1
Ingestione di acqua							
Tasso di Ingestione di acqua	IRw	L/d	1		2		1

(a) In caso di intensa attività fisica, in ambienti residenziali outdoor si suggerisce l'utilizzo di un valore maggiormente conservativo, pari a 1,5 m³/ora per gli adulti, e di 1,0 m³/ora per i bambini.
(b) Per l'ambito commerciale/industriale si suggerisce di utilizzare nel caso di dura attività fisica un valore pari a 2,5 m³/ora è da utilizzare mentre, nel caso di attività moderata e sedentaria è più opportuno utilizzare un valore rispettivamente pari a 1,5 e 0,9 m³/ora. Per un ambito ricreativo le linee guida suggeriscono come valori di inalazione outdoor 3,2 m³/ora e 1,9 m³/ora per un adulto e per bambino, rispettivamente.
(c) Per un ambito ricreativo le linee guida ISPRA indicano una frequenza giornaliera di esposizione di 3 ore/giorno.

Per quanto riguarda le caratteristiche del sito sono stati inseriti tutti i dati specifici presentati nel Capitolo 2 ed in parte utilizzati anche nell'analisi di rischio applicata alla discarica di servizio. Nella Tabella 4-5 e nella Tabella 4-6 sono riepilogati i valori di ciascun parametro alimentati nel software. Per i dati non disponibili sono stati quelli di default stabiliti da ISPRA.

Tabella 4-4: Parametri di input relativi alla geometria sorgenti alimentati al software RiskNet Pro 3.1

Parametri del sito

Geometria Sorgenti | Zona Insatura | Zona Satura

Geometria Sorgenti — Default | Copia tabella | Help

Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Geometria Sorgenti					
Definisci geometria sorgenti	☑ Stessa dimensione per tutte le sorgenti				
Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	W	45	126	m	✓
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	Sw	45	45	m	✓
Altezza della zona di miscelazione in aria	δair	2	2	m	✓
Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W'	45	45	m	✓
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale a quella del vento	Sw'	45	45	m	✓
Suolo Superficiale					
Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	Ls,SS	0	0	m	✓
Spessore della sorgente nel suolo superficiale insaturo	d	1	1	m	✓
Suolo Profondo					
Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	Ls,SP	1	1	m	✓
Spessore della sorgente nel suolo profondo insaturo	ds	2	5	m	✓
Falda					
Soggiacenza della falda da p.c.	Lgw	3	14,28	m	✓

Tabella 4-5: Parametri di input relativi alla zona insatura alimentati al software RiskNet Pro 3.1

Parametri del sito

Geometria Sorgenti | Zona Insatura | Zona Satura

Zona Insatura — Default | Copia tabella | Help

Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Tessitura della Zona Insatura					
Seleziona la tessitura rappresentativa del suolo insaturo			Sand		
Porosità efficace del terreno in zona insatura	θe	Letteratura	0.385	-	✓
Contenuto volumetrico di acqua nel suolo	θw	Letteratura	0.068	-	✓
Contenuto volumetrico di aria nel suolo	θa	Letteratura	0.317	-	✓
Contenuto volumetrico di acqua nella frangia capillare	θw,cap	Letteratura	0.33	-	✓
Contenuto volumetrico di aria nella frangia capillare	θa,cap	Letteratura	0.055	-	✓
Spessore della frangia capillare	hcap	Letteratura	0.1	m	✓
Carico idraulico critico (potenziale di matrice)	hcr	Letteratura	-0.0402	m	✓
Conducibilità idraulica del terreno nella zona insatura	Ksat,s	Letteratura	8.25e-5	m/s	✓
Battente idrico in superficie	Hw	0.25	0,25	m	✓
Caratteristiche della Zona Insatura					
Densità del suolo	ρs	1.7	**1,62**	g/cm³	✓
pH del suolo	pH	6.8	**8**	-	✓
Frazione di carbonio organico - suolo superficiale	foc,SS	0.01	**0,116**	g/g	✓
Frazione di carbonio organico - suolo profondo	foc,SP	0.01	**0,116**	g/g	✓
Frazione residua dei pori nel suolo (per calcolo Cres)	Sr	0.04	0,04	m	✓
Spessore della zona insatura	hv	Calcolato	14.180	m	✓
Infiltrazione nel sottosuolo					
Calcola l'infiltrazione efficace nel suolo			☑ Calcolato		
Piovosità media annua	P	129	**131,7**	cm/y	✓
Frazione areale di fratture outdoor	ηout	1	1	-	✓
Infiltrazione efficace nel suolo	Ief	Calcolato	31.22	cm/y	✓
Telo in HDPE o strato a bassa permeabilità tra la sorgente e la falda (lisciviazione da suolo in falda)			☐ Inserisci		
Altri parametri intermedi					
Spessore della zona di miscelazione in falda	δgw	Calcolato	14.69	m	no check
Fattore di diluizione in falda	LDF	Calcolato	11.60	-	no check

Tabella 4-6: Parametri di input relativi alla zona satura alimentati al software RiskNet Pro 3.1

Parametri del sito

Geometria Sorgenti | Zona Insatura | Zona Satura

Zona Satura — Default | Copia tabella | Help

Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Tessitura della Zona Satura					
Seleziona la tessitura rappresentativa del suolo saturo			Sito-specifico		
Conducibilità idraulica del terreno saturo	Ksat	7.90e-5	**0,00015**	m/s	✓
Porosità efficace del terreno in zona satura	θe,sat	0.353	**0,385**	-	✓
Caratteristiche della Zona Satura					
Spessore acquifero	da	2	**30**	m	✓
Gradiente idraulico	i	0.01	**0,006**	m/m	✓
Velocità di Darcy	vgw	Calcolato	9.00e-7	m/s	✓
Velocità media effettiva nella falda	ve	Calcolato	2.34e-6	-	✓
Frazione di carbonio organico - suolo saturo	foc,sat	0.001	**0,0116**	g/g	✓
Frazione residua dei pori nel suolo saturo (per calcolo Cres)	Sr	0.04	0,04	m	✓
Trasporto e dispersione in falda					
Distanza punto di conformità in falda	POC	100	100	m	✓
Calcola automaticamente coefficienti di dispersione in falda			☑ Calcolato		
Dispersività longitudinale in falda	ax	Calcolato	10.00	m	✓
Dispersività trasversale in falda	ay	Calcolato	3.33	m	✓
Dispersività verticale in falda	az	Calcolato	0.50	m	✓

Nelle precedenti tabelle, i dati direttamente inseriti o inseribili sono quelli relativi alle celle in giallo, mentre quelli nelle celle in grigio più scuro sono direttamente calcolati dal software. I dati nelle celle in grigio chiaro non sono di pertinenza per i calcoli relativi alle vie attive considerate.

I risultati dei calcoli effettuati dal software sono riportati nelle seguenti Tabelle:

Tabella 4-7: Parametri di OUTPUT relativi SUOLO SUPERFICIALE: concentrazioni attese al POE

Concentrazione al POE - Percorso da Suolo Superficiale										
Contaminante	CRS	Csat	On-site					Off-site		
			Vapori Outdoor	Vapori Indoor	Polveri Outdoor	Polveri Indoor	Falda	Vapori Outdoor	Polveri Outdoor	Falda
	mg/kg	mg/kg	mg/m³	mg/m³	mg/m³	mg/m³	mg/L	mg/m³	mg/m³	mg/L
Cadmio	2.55e+2	-	-	-	-	-	3.58e-4	-	-	-
Cromo totale	2.46e+3	-	-	-	-	-	3.46e-6	-	-	-
Nichel	1.57e+3	-	-	-	-	-	5.00e-3	-	-	-
Piombo	3.39e+4	-	-	-	-	-	2.27e-1	-	-	-
Rame	1.25e+4	-	-	-	-	-	2.15e+0	-	-	-
Zinco	4.75e+4	-	-	-	-	-	5.41e-1	-	-	-
Alifatici C >12-16	4.52e+4	2.04e+1	-	-	-	-	4.69e-3	-	-	-

Tabella 4-8: Parametri di OUTPUT relativi a SUOLO PROFONDO: concentrazioni attese al POE

Concentrazione al POE - Percorso da Suolo Profondo							
Contaminante	CRS	Csat	On-site			Off-site	
			Vapori Outdoor	Vapori Indoor	Falda	Vapori Outdoor	Falda
	mg/kg	mg/kg	mg/m³	mg/m³	mg/L	mg/m³	mg/L
Cadmio	4.39e+2	-	-	-	3.31e-3	-	-
Cromo totale	1.29e+4	-	-	-	9.77e-5	-	-
Nichel	6.55e+2	-	-	-	1.12e-2	-	-
Piombo	1.81e+4	-	-	-	6.52e-1	-	-
Rame	3.15e+3	-	-	-	2.91e+0	-	-
Zinco	2.18e+4	-	-	-	1.34e+0	-	-
Alifatici C >12-16	3.36e+3	2.04e+1	-	-	1.88e-3	-	-

Dall'analisi dei primi risultati si deduce che la $CRS_{alifatici\ c>12-16}$ risulta superiore alla Concentrazione di saturazione C_{sat}. Nelle linee guida di ISPRA è previsto nel calcolo del rischio di limitare la CSR di una determinata sostanza il cui il valore presente nei terreni superi la relativa C_{sat} proprio alla C_{sat}, poiché al di sopra di tale valore la sostanza potrebbe ritrovarsi nei terreni nella sua fase separata. Nel caso in esame l'avere imputato alla classe degli Alifatici C>12-16 l'intera concentrazione degli idrocarburi C>12 probabilmente è una delle ragioni del superamento delle C_{sat} nel campione.

A titolo puramente cautelativo, nei calcoli effettuati per la valutazione del rischio, è stata comunque rimossa la limitazione della CRS a C_{sat}.

Tabella 4-9: Parametri di OUTPUT relativi a SUOLO SUPERFICIALE: valutazione del rischio per la Protezione Risorsa Idrica

Rischio da Suolo Superficiale								
Contaminante	CRS	f	CRS/f	Csat	Cres	R (HH)	HI (HH)	Rgw (GW)
	mg/kg	-	mg/kg	mg/kg	mg/kg	-	-	-
Cadmio	2.55e+2		2.55e+2	-	-	-	-	7.16e-2
Cromo totale	2.46e+3		2.46e+3	-	-	-	-	6.91e-5
Nichel	1.57e+3		1.57e+3	-	-	-	-	2.50e-1
Piombo	3.39e+4		3.39e+4	-	-	-	-	2.27e+1
Rame	1.25e+4		1.25e+4	-	-	-	-	2.15e+0
Zinco	4.75e+4		4.75e+4	-	-	-	-	1.80e-1
Alifatici C >12-16	4.52e+4		4.52e+4	2.04e+1	2.04e+1	-	-	1.34e-2
Cumulato Outdoor (On-site)						-	-	
Cumulato Indoor (On-site)						-	-	
Rischio per la risorsa idrica per gli idrocarburi - TPH								**1.34e-2**

Tabella 4-10: Parametri di OUTPUT relativi SUOLO PROFONDO: valutazione del rischio per la Protezione Risorsa Idrica

Rischio da Suolo Profondo								
Contaminante	CRS	f	CRS/f	Csat	Cres	R (HH)	HI (HH)	Rgw (GW)
	mg/kg	-	mg/kg	mg/kg	mg/kg	-	-	-
Cadmio	4.39e+2		4.39e+2	-	-	-	-	6.63e-1
Cromo totale	1.29e+4		1.29e+4	-	-	-	-	1.95e-3
Nichel	6.55e+2		6.55e+2	-	-	-	-	5.60e-1
Piombo	1.81e+4		1.81e+4	-	-	-	-	6.52e+1
Rame	3.15e+3		3.15e+3	-	-	-	-	2.91e+0
Zinco	2.18e+4		2.18e+4	-	-	-	-	4.45e-1
Alifatici C >12-16	3.36e+3		3.36e+3	2.04e+1	2.04e+1	-	-	5.36e-3
Cumulato Outdoor (On-site)						-	-	
Cumulato Indoor (On-site)						-	-	
Rischio per la risorsa idrica per gli idrocarburi - TPH								**5.36e-3**

Nella Tabella 4-9 e nella Tabella 4-10 vengono evidenziati i risultati del calcolo del rischio associato alla Protezione della Risorsa Idrica (Rgw). La cella in viola nelle CRS (alifatici C>12-16) segnala che tale concentrazione è superiore alla relativa C_{sat}. Le celle in rosso segnalano invece un rischio superiore ad 1 per i relativi contaminanti, rischio che pertanto non risulta accettabile.

Il contributo del piombo fornisce un rischio per la falda pari a 22,7 dal suolo superficiale e pari a 65,2 dal suolo profondo. Il rame restituisce un rischio per la falda pari a 2,15 dal suolo superficiale e pari a 2,91 dal suolo profondo.

Nella realtà, le indagini finora svolte sulle acque sotterranee della zona in esame non hanno mai mostrato superamenti dei limiti di qualità per i parametri rame e piombo, il

che sembrerebbe confermare l'estrema cautela adottata nella scelta delle ipotesi alla base dell'Analisi di Rischio. Gli unici superamenti rilevati riguardano invece il cromo esavalente, la cui provenienza è ancora oggetto di verifica da parte di una squadra di tecnici coordinati dal comune di Nave.

Figura 4-2- Rappresentazione grafica del comportamento dei contaminanti nel SUOLO SUPERFICIALE che rendono il rischio a protezione della risorsa idrica non accettabile

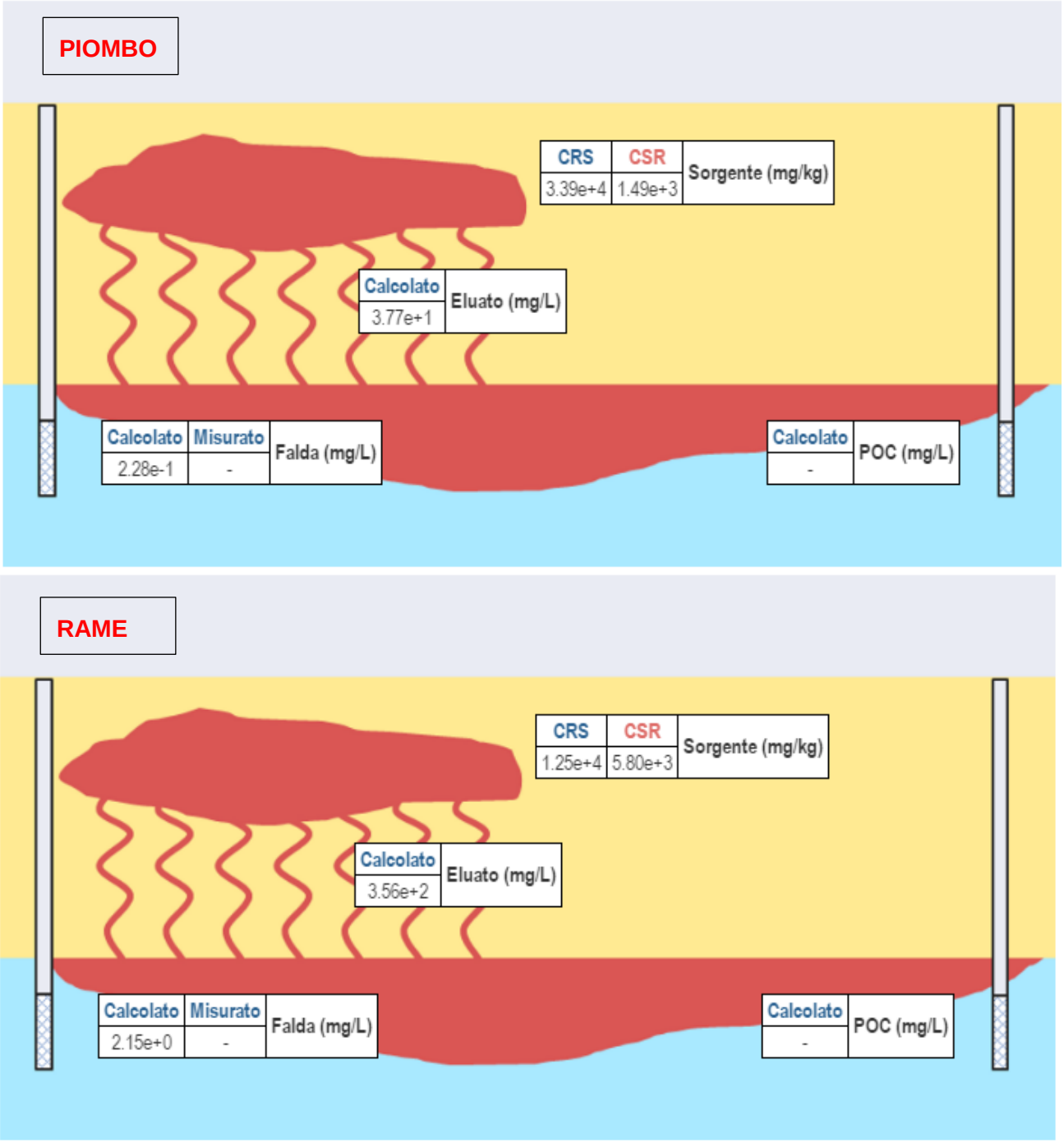
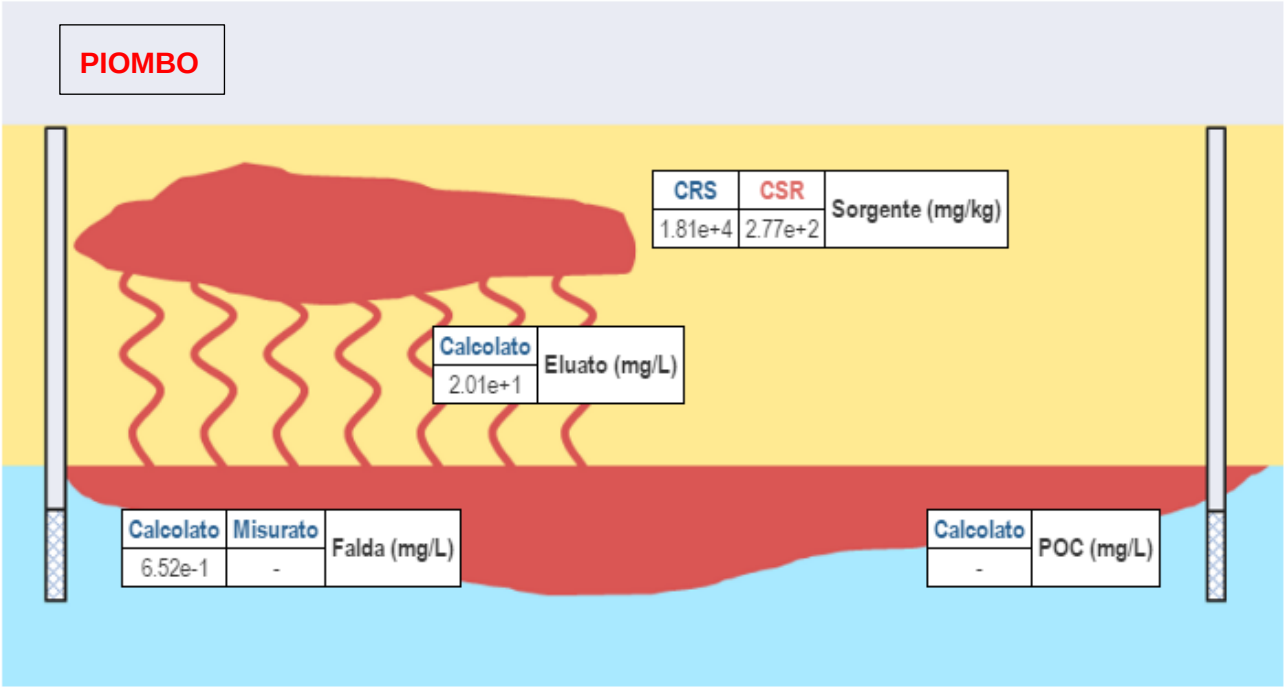
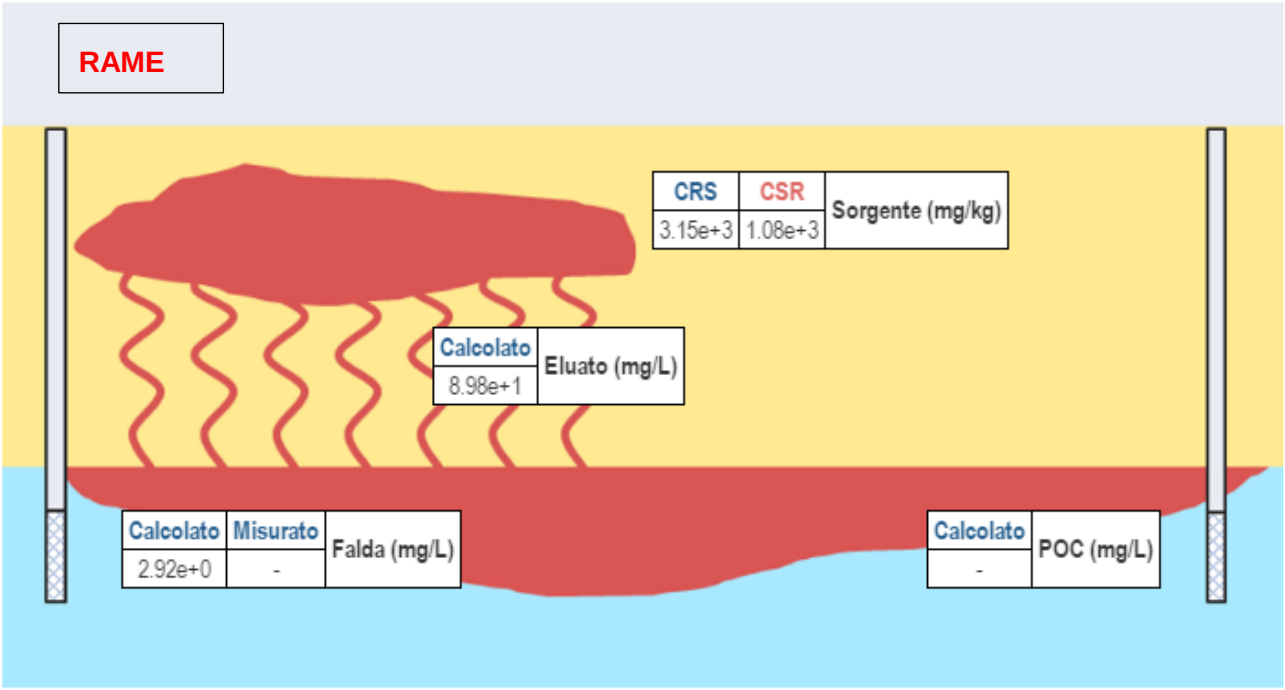


Figura 4-3- Rappresentazione grafica del comportamento dei contaminanti nel SUOLO PROFONDO che rendono il rischio a protezione della risorsa idrica non accettabile





4.1. Analisi di rischio applicata ai "terreni" dell'Area 3 nella situazione con taglio dei percorsi attraverso capping

E' stata ripetuta l'analisi di rischio considerando di dotare l'intera superficie di capping di impermeabilizzazione in grado di ridurre, se non annullare, l'infiltrazione efficace delle acque meteoriche attraverso la superficie.

Si è preso come esempio di partenza uno dei capping presentati nel Manuale "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" di ISPRA/APAT e precisamente quello costituito da:

- Strato di terreno;
- Strato di drenaggio;
- Geomembana in HDPE 1 mm
- Argilla 1 metro.

Per tale pacchetto di copertura il Manuale ISPRA nella Tabella 18 propone per il coefficiente "a" coefficiente di copertura finale un valore di 0,05. Tale coefficiente viene moltiplicato per l'infiltrazione efficace calcolata con la formula $I_{eff} = 0{,}0018 \times P^2$ per calcolare $I_{eff\text{-}cop}$, cioè l'infiltrazione efficace attraverso la copertura artificiale della discarica stessa.

Considerando l'utilizzo di una geomembrana più performante (ad esempio spessore 2 mm) o l'aggiunta di un materassino bentonitico a protezione della geomembrana il valore di "a" considerato può raggiungere valori inferiori a 0,01. Tale valore è comunque cautelativo perché comunque pensato per le discariche con superfici irregolari, in genere convesse e soggette ad assestamenti differenziali che potrebbero generare la rottura delle geomembrane superficiali e generare vie privilegiate di infiltrazione nel pacchetto di impermeabilizzazione.

Nel caso della ex Afim, la superficie risulta essere completamente piana e soprattutto non interessata a fenomeni di assestamento, in quanto i materiali non sono soggetti a fenomeni di biodegradazione, sono stati depositati negli strati attuali ormai decine di anni fa, e sono stati peraltro oggetto di attività stabilizzazione meccanica della superficie quale area utilizzata come caratterizzazione dei materiali e deposito temporaneo durante le operazioni della prima fase della bonifica ex Afim. Sono quindi da ritenersi remoti i fenomeni di rottura della geomembrana o il crearsi di vie preferenziali di infiltrazione.

E' stato pertanto considerato il valore 0,01 come parametro "$\eta_{outdoor}$=Frazione areale di fratture outdoor" nella sezione di input dei parametri relativi all'area insatura del software. Tutti gli altri parametri non sono stati modificati.

Tabella 4-11: Parametri di input relativi alla zona satura alimentati al software RiskNet 3.1 Pro con capping superficiale

Parametri del sito

Geometria Sorgenti | Zona Insatura | Zona Satura

Zona Insatura — Default | Copia tabella | Help

Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Tessitura della Zona Insatura					
Seleziona la tessitura rappresentativa del suolo insaturo			Sand		
Porosità efficace del terreno in zona insatura	θe	Letteratura	0.385	-	✓
Contenuto volumetrico di acqua nel suolo	θw	Letteratura	0.068	-	✓
Contenuto volumetrico di aria nel suolo	θa	Letteratura	0.317	-	✓
Contenuto volumetrico di acqua nella frangia capillare	θw,cap	Letteratura	0.33	-	✓
Contenuto volumetrico di aria nella frangia capillare	θa,cap	Letteratura	0.055	-	✓
Spessore della frangia capillare	hcap	Letteratura	0.1	m	✓
Carico idraulico critico (potenziale di matrice)	hcr	Letteratura	-0.0402	m	✓
Conducibilità idraulica del terreno nella zona insatura	Ksat,s	Letteratura	8.25e-5	m/s	✓
Battente idrico in superficie	Hw	0.25	0,25	m	✓
Caratteristiche della Zona Insatura					
Densità del suolo	ρs	1.7	1,62	g/cm³	✓
pH del suolo	pH	6.8	8	-	✓
Frazione di carbonio organico - suolo superficiale	foc,SS	0.01	0,116	g/g	✓
Frazione di carbonio organico - suolo profondo	foc,SP	0.01	0,116	g/g	✓
Frazione residua dei pori nel suolo (per calcolo Cres)	Sr	0.04	0,04	m	✓
Spessore della zona insatura	hv	Calcolato	14.180	m	✓
Infiltrazione nel sottosuolo					
Calcola l'infiltrazione efficace nel suolo			☑ Calcolato		
Piovosità media annua	P	129	131,7	cm/y	✓
Frazione areale di fratture outdoor	ηout	1	0,01	-	✓
Infiltrazione efficace nel suolo	Ief	Calcolato	0.31	cm/y	✓
Telo in HDPE o strato a bassa permeabilità tra la sorgente e la falda (lisciviazione da suolo in falda)			☐ Inserisci		
Altri parametri intermedi					
Spessore della zona di miscelazione in falda	δgw	Calcolato	13.35	m	no check
Fattore di diluizione in falda	LDF	Calcolato	964.73	-	no check

I risultati dei calcoli effettuati dal software sono riportati nelle seguenti Tabelle:

Tabella 4-12: Parametri di OUTPUT relativi SUOLO SUPERFICIALE con capping: concentrazioni attese al PEO

Concentrazione al POE - Percorso da Suolo Superficiale										
Contaminante	CRS	Csat	On-site					Off-site		
			Vapori Outdoor	Vapori Indoor	Polveri Outdoor	Polveri Indoor	Falda	Vapori Outdoor	Polveri Outdoor	Falda
	mg/kg	mg/kg	mg/m³	mg/m³	mg/m³	mg/m³	mg/L	mg/m³	mg/m³	mg/L
Cadmio	2.55e+2	-	-	-	-	-	4.30e-6	-	-	-
Cromo totale	2.46e+3	-	-	-	-	-	4.16e-8	-	-	-
Nichel	1.57e+3	-	-	-	-	-	6.01e-5	-	-	-
Piombo	3.39e+4	-	-	-	-	-	2.73e-3	-	-	-
Rame	1.25e+4	-	-	-	-	-	2.58e-2	-	-	-
Zinco	4.75e+4	-	-	-	-	-	6.50e-3	-	-	-
Alifatici C >12-16	4.52e+4	2.04e+1	-	-	-	-	5.64e-5	-	-	-

Tabella 4-13: Parametri di OUTPUT relativi SUOLO PROFONDO con capping: concentrazioni attese in falda

Concentrazione al POE - Percorso da Suolo Profondo							
Contaminante	CRS	Csat	On-site			Off-site	
			Vapori Outdoor	Vapori Indoor	Falda	Vapori Outdoor	Falda
	mg/kg	mg/kg	mg/m³	mg/m³	mg/L	mg/m³	mg/L
Cadmio	4.39e+2	-	-	-	3.98e-5	-	-
Cromo totale	1.29e+4	-	-	-	1.17e-6	-	-
Nichel	6.55e+2	-	-	-	1.35e-4	-	-
Piombo	1.81e+4	-	-	-	7.84e-3	-	-
Rame	3.15e+3	-	-	-	3.50e-2	-	-
Zinco	2.18e+4	-	-	-	1.61e-2	-	-
Alifatici C >12-16	3.36e+3	2.04e+1	-	-	2.25e-5	-	-

Tabella 4-14: Parametri di OUTPUT relativi SUOLO SUPERFICIALE con capping: valutazione del rischio per la Protezione Risorsa Idrica

Rischio da Suolo Superficiale								
Contaminante	CRS	f	CRS/f	Csat	Cres	R (HH)	HI (HH)	Rgw (GW)
	mg/kg	-	mg/kg	mg/kg	mg/kg	-	-	-
Cadmio	2.55e+2		2.55e+2	-	-	-	-	8.61e-4
Cromo totale	2.46e+3		2.46e+3	-	-	-	-	8.31e-7
Nichel	1.57e+3		1.57e+3	-	-	-	-	3.01e-3
Piombo	3.39e+4		3.39e+4	-	-	-	-	2.73e-1
Rame	1.25e+4		1.25e+4	-	-	-	-	2.58e-2
Zinco	4.75e+4		4.75e+4	-	-	-	-	2.17e-3
Alifatici C >12-16	4.52e+4		4.52e+4	2.04e+1	2.04e+1	-	-	1.61e-4
Cumulato Outdoor (On-site)						-	-	
Cumulato Indoor (On-site)						-	-	
Rischio per la risorsa idrica per gli idrocarburi - TPH								**1.61e-4**

Tabella 4-15: Parametri di OUTPUT relativi SUOLO PROFONDO: valutazione del rischio per la Protezione Risorsa Idrica

Rischio da Suolo Profondo								
Contaminante	CRS	f	CRS/f	Csat	Cres	R (HH)	HI (HH)	Rgw (GW)
	mg/kg	-	mg/kg	mg/kg	mg/kg	-	-	-
Cadmio	4.39e+2		4.39e+2	-	-	-	-	7.97e-3
Cromo totale	1.29e+4		1.29e+4	-	-	-	-	2.35e-5
Nichel	6.55e+2		6.55e+2	-	-	-	-	6.73e-3
Piombo	1.81e+4		1.81e+4	-	-	-	-	7.84e-1
Rame	3.15e+3		3.15e+3	-	-	-	-	3.50e-2
Zinco	2.18e+4		2.18e+4	-	-	-	-	5.35e-3
Alifatici C >12-16	3.36e+3		3.36e+3	2.04e+1	2.04e+1	-	-	6.44e-5
Cumulato Outdoor (On-site)						-	-	
Cumulato Indoor (On-site)						-	-	
Rischio per la risorsa idrica per gli idrocarburi - TPH								**6.44e-5**

Nella Tabella 4-14 e nella Tabella 4-15 vengono evidenziati i risultati del calcolo del rischio associato alla Protezione della Risorsa Idrica (Rgw). La cella in viola nelle CRS (alifatici C>12-16) segnala che tale concentrazione è superiore alla relativa C_{sat}.

Come si può notare non vi sono più le celle in rosso che segnalavano un rischio superiore ad 1 per i relativi contaminanti.

Nel suolo superficiale il contributo del piombo fornisce un rischio per la falda pari a 0,273 mentre il rame restituisce un rischio per la falda pari a 0,0258.

Nel suolo profondo il contributo del piombo fornisce un rischio per la falda pari a 0,784 mentre il rame restituisce un rischio per la falda pari a 0,0350.

Quindi la sola l'adozione di una barriera di impermeabilizzazione che ha generato un taglio dei percorsi (infiltrazione efficace), sarebbe sufifciente a riportare il rischio di Protezione della Risorsa Idrica a condizioni di accettabilità.

Quanto riportato nel presente capitolo vuole comunque essere un semplice esercizio matematico ad ulteriore supporto della tesi presentata nel Capitolo 3 legata all'analisi di rischio per la prevista discarica di servizio (messa in sicurezza permanente) in cui mettere a dimora i rifiuti proveniente dalle aree della bonifica ex Afim, non utilizzabili in altre aree della proprietà, senza prevedere per essi alcun pretrattamento.

5 CONCLUSIONI

Riepilogando le evidenze fin qui riscontrate, è possibile affermare che:

- E' stata prevista, all'interno della variante del progetto di bonifica, la costruzione di una messa in sicurezza permanente a servizio della bonifica stessa, realizzata con riferimento ai criteri del D.Lgs 36/2003 relativi alle discariche per i rifiuti non pericolosi;

- Poiché, in alcuni campioni di rifiuti, le concentrazioni sul tal quale dei parametri legati ai metalli sono particolarmente elevate, mentre gli eluati sono conformi ai limiti di Tabella 5a del DM 27.09.2010 e smi (se si eccettuano due superamenti relativi al molibdeno in partite di rifiuti già allontanate dal sito), per la verifica dell'ammissibilità in discarica di rifiuti con concentrazioni in deroga ai limiti tabellari è necessario effettuare su di essa un'analisi di rischio volta alla verifica che le deroghe concesse non generino impatti negativi sulle componenti ambientali interessate, in particolare per la protezione della risorsa idrica

- sulla base della Circolare ISPRA del 31.10.2011 per ogni elemento della Tabella 5a del DM 27.09.10 è stata valutata la concentrazione massima accettabile in discarica $C_{acc(deposito)}$ partendo dalla concentrazione massima nelle acque sotterranee $C_{acc(acque\ sotterranee)}$ attraverso il calcolo del fattore di lisciviazione LF;

- la $C_{acc(deposito)}$ rappresenta il massimo valore di concentrazione di un dato elemento chimico nel percolato perché non vi sia rischio per la qualità delle acque sotterranee;

- Tale valore di soglia di accettazione risulta largamente superiore ai valori ritrovati negli eluati del test di cessione sui campioni di rifiuto derivanti dalla bonifica ex AFIM. Pur non esistendo una correlazione diretta tra concentrazioni in un test di cessione a cui è sottoposto un rifiuto con le concentrazioni effettive nel percolato che si formerà all'interno di un deposito permanente tale test rimane l'unico accettabile per definire criteri oggettivi di ammissibilità di un rifiuto ad un impianto di discarica; la differenza nelle concentrazioni negli eluati ed i limiti di soglia è talmente elevata da far ritenere che anche un eventuale percolato prodotto possa largamente rientrare nei limiti di tale soglia;

- I risultati dell'analisi di rischio effettuata deposito di servizio proposto hanno evidenziato che i rifiuti presenti nell'area della ex AFIM possono esservi messi a dimora senza la necessità di alcun pretrattamento;

- Per la necessità di mantenere il volume a disposizione nel bacino di servizio, cercando di ridurne le dimensioni, soprattutto quelle in elevazione, si è ipotizzato di realizzare una discarica con criteri costruttivi in deroga rispetto a quanto previsto dal D.Lgs 36/2003, in particolare riducendo lo spessore dell'argilla nel pacchetto di impermeabilizzazione del fondo da 1,0 m a 0,5 m e semplificando il pacchetto di copertura. Questa soluzione è stata nuovamente

sottoposta a valutazione con Analisi di Rischio che ha dimostrato l'ammissibilità dei rifiuti della ex Afim anche senza pre trattamento nell'impianto realizzato in deroga;

- A supporto delle tesi relative alla possibilità di mettere a dimora nel deposito di servizio i rifiuti della ex Afim senza necessità di loro pretrattamento, è stata effettuata un'analisi di rischio sull'Area 3 considerando i materiali presenti sopra e sotto suolo come terreni contaminati e non come rifiuti. L'analisi di rischio è stata semplificata alla sole vie attive inerenti la protezione della risorsa idrica. L'analisi di rischio nella situazione attuale ha dimostrato una NON accettabilità del rischio connesso alle concentrazioni dei contaminanti attualmente presenti in sito, anche se nella realtà non si sono riscontrati superamenti dei limiti nelle acque di falda per i parametri che rendono non accettabile il rischio, a dimostrazione di una scelta estremamente cautelativa nelle ipotesi dell'Analisi di Rischio;

- La medesima analisi di rischio sui terreni è stata ripetuta prevedendo una copertura artificiale sulla superficie (capping) in grado di tagliare il percorso relativo all'infiltrazione delle acque meteoriche attraverso la superficie dell'Area 3: in questo caso l'analisi di rischio ha restituito un risultato favorevole.

- Se quindi una soluzione che prevede una sola copertura dell'area, senza la realizzazione di barriere di impermeabilizzazione su pareti e fondo, è in grado di rendere il rischio accettabile, a maggior ragione lo sarà la messa in sicurezza proposta.

Secondo queste premesse pertanto si ritiene che i rifiuti presenti sull'area della ex Afim siano ammissibili senza pre trattamento nel bacino di messa in sicurezza permanente di servizio alla bonifica da realizzarsi sull'Area 3, costruita secondo i criteri previsti nel progetto proposto.

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI MESSINA
DOTT. ING.
PAOLO PACETTI
N. 1646

CERTIFICATI CONTENENTI I DATI SITOSPECIFICI USATI PER L'ANALISI DI RISCHIO