

Luigi Boeri, Ingegnere & Associati



LSCT – La Spezia Container Terminal S.p.A.



Nuovo Terminal Ravano del Porto della Spezia

***Analisi di Rischio Ambientale e
Sanitario relativa all'area di
colmata, secondo i criteri riportati
nell'Allegato 1 alla Parte Quarta,
Titolo V, del D.Lgs. 152/06***

EH&S Report 028-21

Environment, Health and Safety



Studio di Ingegneria

Sede Legale: ✉ *Via di Marmiceto 6/C
56121 Ospedaletto Pisa*

☎: + 39 050 6204260

☎: + 39 050 6204259



✉: *info@studioboeri.it*
http://www.studioboeri.it

Pisa, 29 marzo 2022

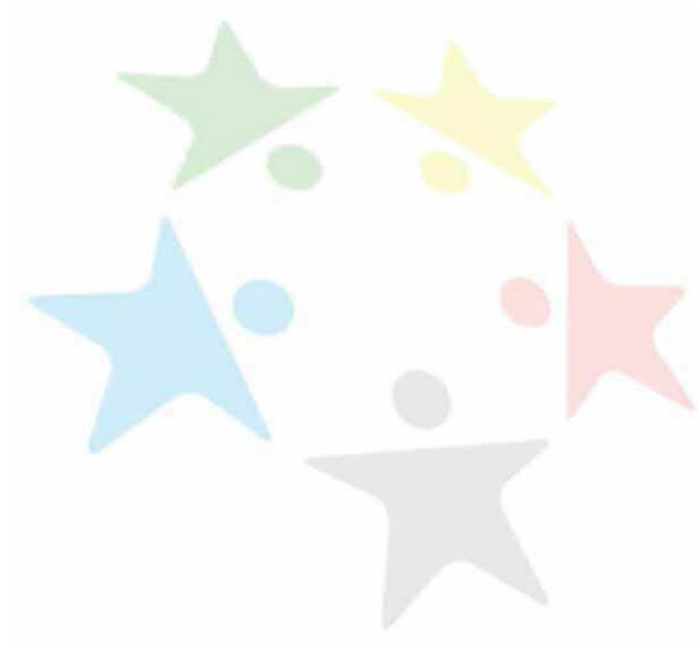


LSCT – La Spezia Container Terminal S.p.A.



Nuovo Terminal Ravano del Porto della Spezia

***Analisi di Rischio Ambientale e Sanitario relativa all'area
di colmata, secondo i criteri riportati nell'Allegato 1 alla
Parte Quarta, Titolo V, del D.Lgs. 152/06***



INDICE

1.	PREMESSA	4
2.	LA COLMATA DELL'AMPLIAMENTO DEL TERMINAL RAVANO	6
3.	INQUADRAMENTO TERRITORIALE ED AMBIENTALE	8
3.1.	Aspetti Geologici e Stratigrafici	9
3.2.	Caratterizzazione Ambientale dei Sedimenti della Marina del Canaletto del Porto della Spezia ai sensi del D.M. 173/2016 (ottobre 2021)	12
3.3.	Caratterizzazione Ambientale della Falda	14
3.4.	Caratterizzazioni delle acque marine antistanti la colmata	15
4.	MODELLO CONCETTUALE DEL SITO	17
4.1.	Vie e modalità di esposizione	18
4.2.	Recettori	19
4.3.	Opzioni di calcolo	19
4.3.1.	Volatilizzazione.....	19
4.3.2.	Lisciviazione	19
4.3.3.	Dispersione in falda.....	20
4.3.4.	Concentrazione di saturazione, Csat.....	20
4.3.5.	Esposizione	20
4.3.6.	Limiti.....	20
5.	INPUT DEL CALCOLO DEL RISCHIO SANITARIO ED AMBIENTALE	21
5.1.	Contaminanti indicatori e concentrazione rappresentativa della sorgente	21
5.2.	Fattori di esposizione	22
5.3.	Parametri del sito	24
5.3.1.	Geometria delle sorgenti e parametri meteo.....	24
5.3.2.	Zona insatura.....	29
5.3.3.	Zona satura	30
5.3.4.	Outdoor	31
5.3.5.	Indoor	33
6.	VALUTAZIONI DEL RISCHIO	34
6.1.1.	Rischio	34
6.1.2.	Fattori di trasporto.....	36
6.1.3.	Concentrazioni attese on-site e off-site	38
6.1.4.	Tassi di esposizione on-site e off-site.....	41
6.1.5.	Trasporto off-site.....	43
7.	CONCLUSIONI	45
8.	ALLEGATI	46

1. **PREMESSA**

La presente *Analisi Rischio ambientale sanitaria* relativa all'area di colmata è stata predisposta secondo i criteri riportati nell'*Allegato 1* alla *Parte Quarta, Titolo V* del *D.Lgs 152/06*, così come richiesto nella *nota* della *Regione Liguria – Settore Ecologia, prot. 2022-0206384* dell'*11 marzo 2022*, di riscontro all'istanza avanzata da *LSCT*, giusta nota *prot. n. 15/2022* del *4 marzo 2022*, per l'approvazione dell'*Analisi di Rischio* ambientale associata alla realizzazione della conterminazione della colmata dell'area su cui insiste la *Marina del Canaletto*, nel *Porto della Spezia*.

L'analisi è finalizzata a valutare il *rischio sanitario per i lavoratori che opereranno sulla colmata*, che ha destinazione d'uso industriale, ed il *rischio per l'ambiente*.

Le analisi di caratterizzazione condotte in precedenza sull'area oggetto di intervento hanno evidenziato il superamento delle *Concentrazioni Soglia di Contaminazione* di cui alla *Colonna B* della *Tabella 1* dell'*Allegato 5* alla *Parte Quarta, Titolo V*, del *DLgs 152/06* per i parametri *Idrocarburi C>12* e *PCB* nei sedimenti del fondo della futura colmata del *Terminal Ravano* nel *Porto della Spezia*. La *sorgente della contaminazione* è quindi costituita dai sedimenti del fondo della colmata (*suolo profondo*).

Il progetto della colmata attualmente prevede, come *materiali di riempimento, l'utilizzo inerti da cava o, in alternativa ed in quota parte, di sedimenti di dragaggio* comunque conformi a quanto previsto dal *D.M. 173/2016*.

La presente Analisi di Rischio è stata sviluppata considerando i materiali di riempimento della colmata caratterizzati da composizione grossolana, ovvero costituiti esclusivamente da inerti da cava. Questa è la soluzione che comporta una maggiore diffusione dei contaminanti (sia verso i potenziali recettori che verso l'ambiente) essendo la permeabilità maggiore. Nel caso i materiali da cava venissero miscelati a sedimenti marini, la permeabilità complessiva diminuirebbe, riducendo ulteriormente il rischio.

Occorre evidenziare che, per la maggior parte degli inquinanti, *la soglia L2 del D.M.173/2016 corrisponde o è inferiore al limite di Colonna A, Tabella 1* dell'*Allegato 5* alla *Parte Quarta, Titolo V*, del *D.Lgs 152/06*. Pertanto, ponendo come condizione per il refluento dei sedimenti la conformità al *D.M. 173/2016*, si soddisfa sicuramente la destinazione d'uso industriale.

Atteso che i software per l'analisi del rischio sono stati creati per valutare la contaminazione in terreni ed acque di falda occorre effettuare alcune precisazioni:

- ✚ con il termine "falda", nel documento, si identifica la matrice acqua presente all'interno della colmata. Si mantiene tale termine in analogia con il software di analisi di rischio, ma in realtà le acque della colmata sono *acque marine ed acque interstiziali dei sedimenti con intromissione della falda*;
- ✚ il calcolo del rischio considera la colmata come se fosse un riempimento a diretto contatto con il mare, senza tener conto della presenza di un doppio palancolato a bassa

permeabilità ($k= 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$), e ciò rappresenta, in termini di risultati, una condizione cautelativa;

- ✚ *la dispersione off site* è calcolata *considerando il mezzo saturo uniforme* (come se esternamente alle palancole continuasse ad essere presente materiale inerte sopra i sedimenti e che ci fosse un unico flusso di “*falda*” che continuasse a fluire). *In realtà, esternamente alle palancole il flusso in uscita si miscela al mare, aumentando enormemente la diluizione dei contaminanti*, e ciò rappresenta, in termini di risultati, una ulteriore condizione cautelativa.

Inoltre, in analogia con il calcolo della concentrazione sorgente presentato nella relazione “*Valutazione del potenziale rischio ambientale dei sedimenti costituenti i fondali della colmata*”, si è voluto *cautelativamente considerare come sorgente l’intera superficie del fondo della colmata. La zona sorgente è quindi pari a tutta la superficie della colmata, per uno spessore di 2 m.*

La valutazione del rilascio dei contaminanti dalla colmata verso mare è già stata valutata attraverso il *modello di conterminazione della colmata* descritto nel documento “*Analisi della conterminazione della colmata della Marina del Canaletto nel Porto della Spezia per la verifica di assenza di rischi per l’ambiente*” che si è concluso con valutazione di flussi insignificanti di contaminanti (*Idrocarburi C>12* e *PCB*) verso mare. La presente analisi fornisce quindi una valutazione aggiuntiva per tale aspetto.

2. LA COLMATA DELL'AMPLIAMENTO DEL TERMINAL RAVANO

Il terminal della *Banchina Ravano* sarà dotato di una banchina operativa di lunghezza pari a **520 m** circa (di cui **156 m** circa del lato di colmata fronte mare). La **larghezza media della colmata è di 250 m e la lunghezza media è di 200 m** (da lato terra a lato mare). La quota dei fondali di progetto fronte banchina sarà pari a **15 m s.l.m.m.** così come previsto dal **PRP** vigente. La configurazione del **Nuovo Terminal Ravano** è conforme alle previsioni del vigente **PRP** del **Porto della Spezia**.

La quota del piano banchina è stata posta a **+2.50 m s.l.m.m.**, coincidente con quella delle due banchine esistenti che verranno inglobate nella nuova struttura.

Lo specchio acqueo su cui viene realizzata la colmata è caratterizzato in maggioranza da modeste profondità (inferiori a **5 m**) e con terreni di base di scarsissime capacità portanti e potenzialmente inquinati. In riferimento alle caratteristiche geotecniche dei terreni di base i **sedimenti del fondo dovranno pertanto essere consolidati**. L'intervento previsto per il consolidamento dello strato di depositi fangosi che si estende dalla quota fondale (**-3.00 m s.m.**) fino a quota **-12.00 m s.m.** circa, è costituito dalla realizzazione di colonne di ghiaia (**vibrosostituzione** con metodo "**bottom-feed**") collocate ai vertici di una maglia quadrata di **2.00 m** di lato. La colmata ingloberà le attuali banchine interne della **Marina del Canaletto** ed i terrapieni a tergo.

Le strutture di banchina che delimitano l'area, sia esistenti (tutte con pareti continue di palancole che pervengono a quote molto inferiori di quelle del letto dello strato di sedimenti contaminati caratterizzati intestandosi all'interno dello strato argilloso) che di nuova realizzazione (diaframmi di palancole con gargami impermeabili) sono in grado di garantire una permeabilità corrispondente ad uno strato di un metro di spessore di materiale caratterizzato da un coefficiente di permeabilità **$k = 1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$** per le palancole "**vecchie**" ubicate a terra e **$k = 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$** per le palancole nuove lato mare.

Verrà inoltre posto sopra i sedimenti uno strato di materiali inerti da cava o di sedimenti idonei da punto di vista qualitativo, che ridurranno ancor più la diffusione di eventuali contaminanti verso l'ambiente.

Per quanto attiene la pavimentazione del piazzale operativo del **nuovo terminal**, che riguarderà sia la superficie della nuova colmata che quella del piazzale esistente, è stata prevista l'adozione di soluzioni tecniche differenti a seconda delle differenti destinazioni d'uso. Su tutto il piazzale operativo del nuovo terminal contenitori, che sarà pavimentato, verrà realizzata una rete di drenaggio delle acque meteoriche con annessi dispositivi di trattamento delle acque di prima pioggia (**AMPP**). Le acque raccolte verranno fatte transitare attraverso degli impianti di trattamento prima del loro scarico a mare.

La **valutazione del potenziale rischio ambientale dei sedimenti costituenti i fondali della colmata** come indicato in **Allegato B** al **D.M. 7 novembre 2008** è stata già

eseguita nella relazione *“Analisi della conterminazione della colmata della Marina del Canaletto nel Porto della Spezia per la verifica di assenza di rischi per l’ambiente”* del 23 febbraio 2022, e *definisce flussi trascurabili per Idrocarburi C>12 e PCB dalla colmata verso mare* (risultati gli unici analiti con concentrazioni superiori alle *Concentrazioni Soglia di Contaminazione* di cui alla *Colonna B, Tabella 1, Allegato 5* alla *Parte IV* del *DLgs 152/06*) con sostanziale assenza di rischio per l’ambiente marino.

La presente analisi di rischio sanitaria ed ambientale pertanto completa il quadro ambientale già analizzato, con una analisi della componente sanitaria per i futuri lavoratori della colmata e la conferma dei valori già ottenuti nella valutazione del potenziale rischio ambientale della colmata effettuata nell’ambito della relazione sopra citata.

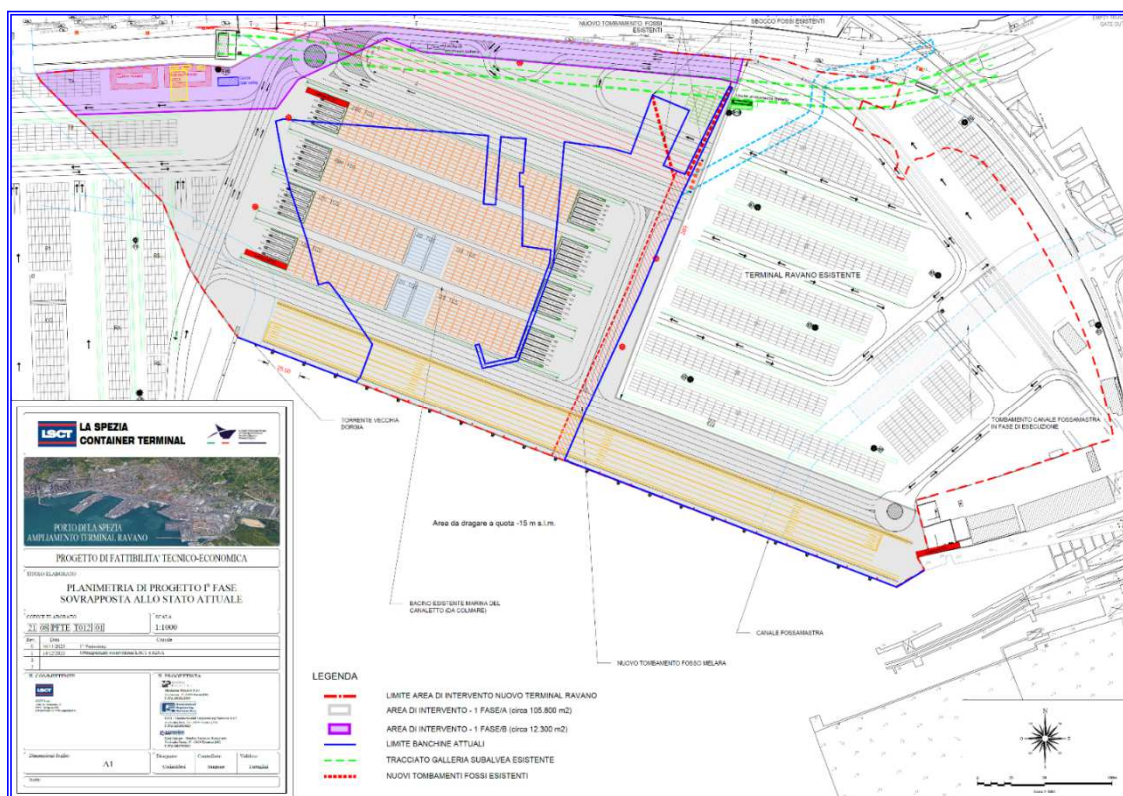
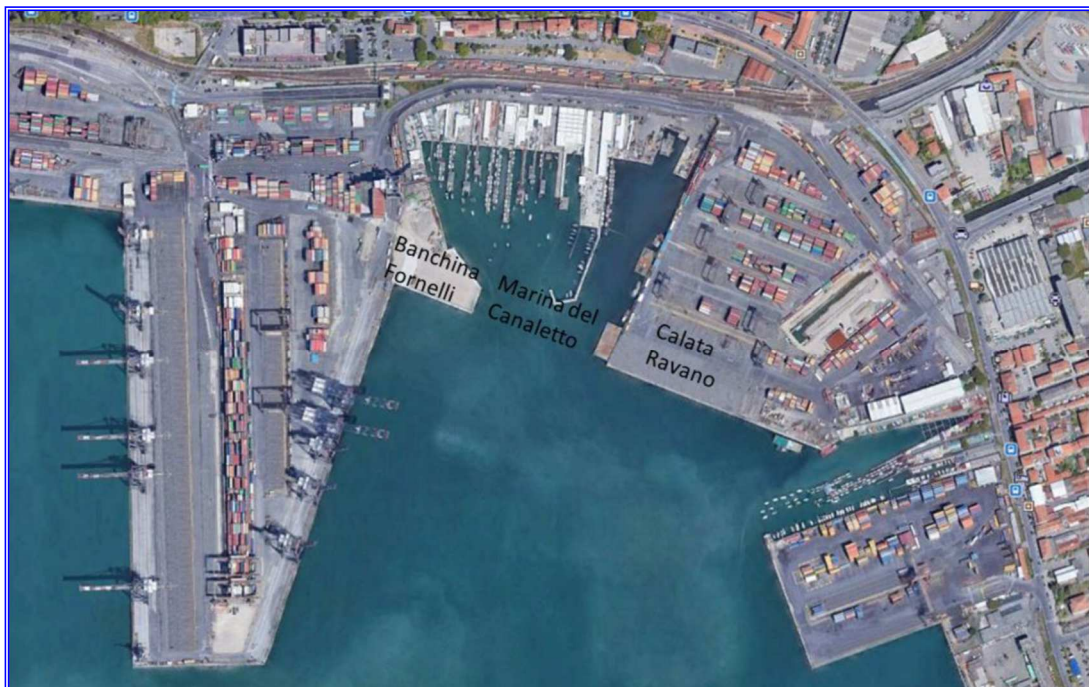


Figura-1 - Planimetria della cassa di colmata sovrapposta allo stato di fatto

3. **INQUADRAMENTO TERRITORIALE ED AMBIENTALE**

Nell'immagine fotografica successiva è individuata l'area di intervento all'interno del **Porto della Spezia**; in particolare, la colmata sarà realizzata in corrispondenza di uno specchio acqueo, denominato **Marina del Canaletto**, situato tra la **Banchina Fornelli** e la **Calata Ravano**, destinato ad accogliere imbarcazioni di piccole dimensioni facenti parte della cosiddetta nautica sociale, in parte in pieno ambito cittadino, in una zona confinante con il fascio binari di **R.F.I.** asservito alle necessità portuali.

La destinazione d'uso della futura colmata, piazzale terminal contenitori è uso industriale.



Si riporta di seguito una sintesi degli aspetti geologici e stratigrafici, dei risultati della caratterizzazione ambientale dei sedimenti e della falda utili alla definizione dell'analisi di rischio.

Per ulteriori dettagli si rimanda al documento *“Analisi della conterminazione della colmata della Marina del Canaletto nel Porto della Spezia per la verifica di assenza di rischi per l'ambiente”* del 23 febbraio 2022.

3.1. Aspetti Geologici e Stratigrafici

La carta geotecnica della **Regione** indica per l'area di indagine:

- ✚ *la zona nord è caratterizzata dalla presenza di materiale grossolano quali ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (Figura -2, area in verde)*
- ✚ *la zona centrale è invece caratterizzata dalla presenza di materiale più fino e coesivo quale limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità (Figura -2, area in marrone)*
- ✚ *la zona più a sud-est vede la presenza di sabbie limose, miscela di sabbia e limo (Figura -2, area in giallo).*

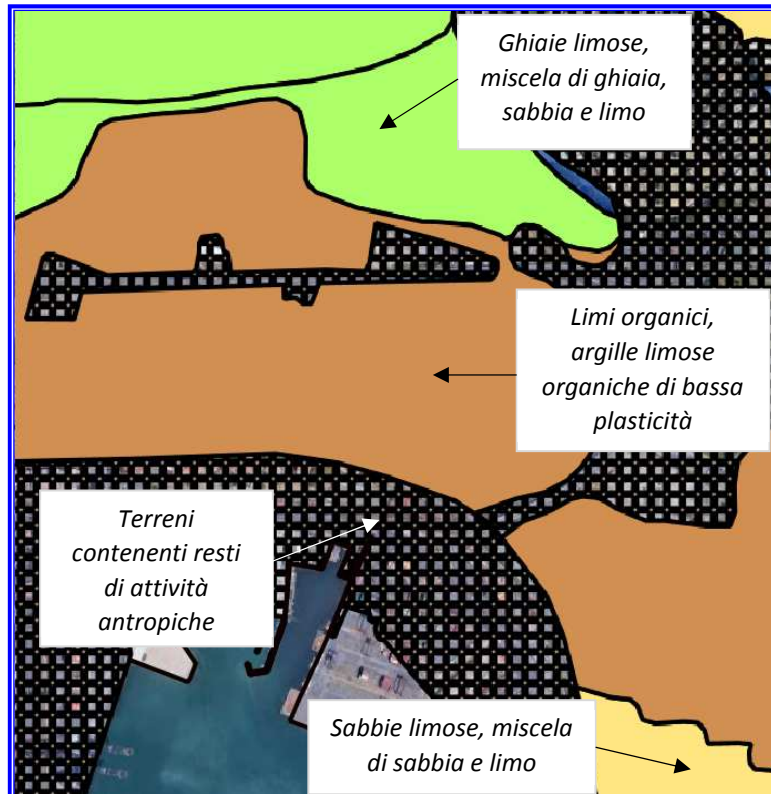


Figura -2 – Stralcio della carta geotecnica nell'area di intervento

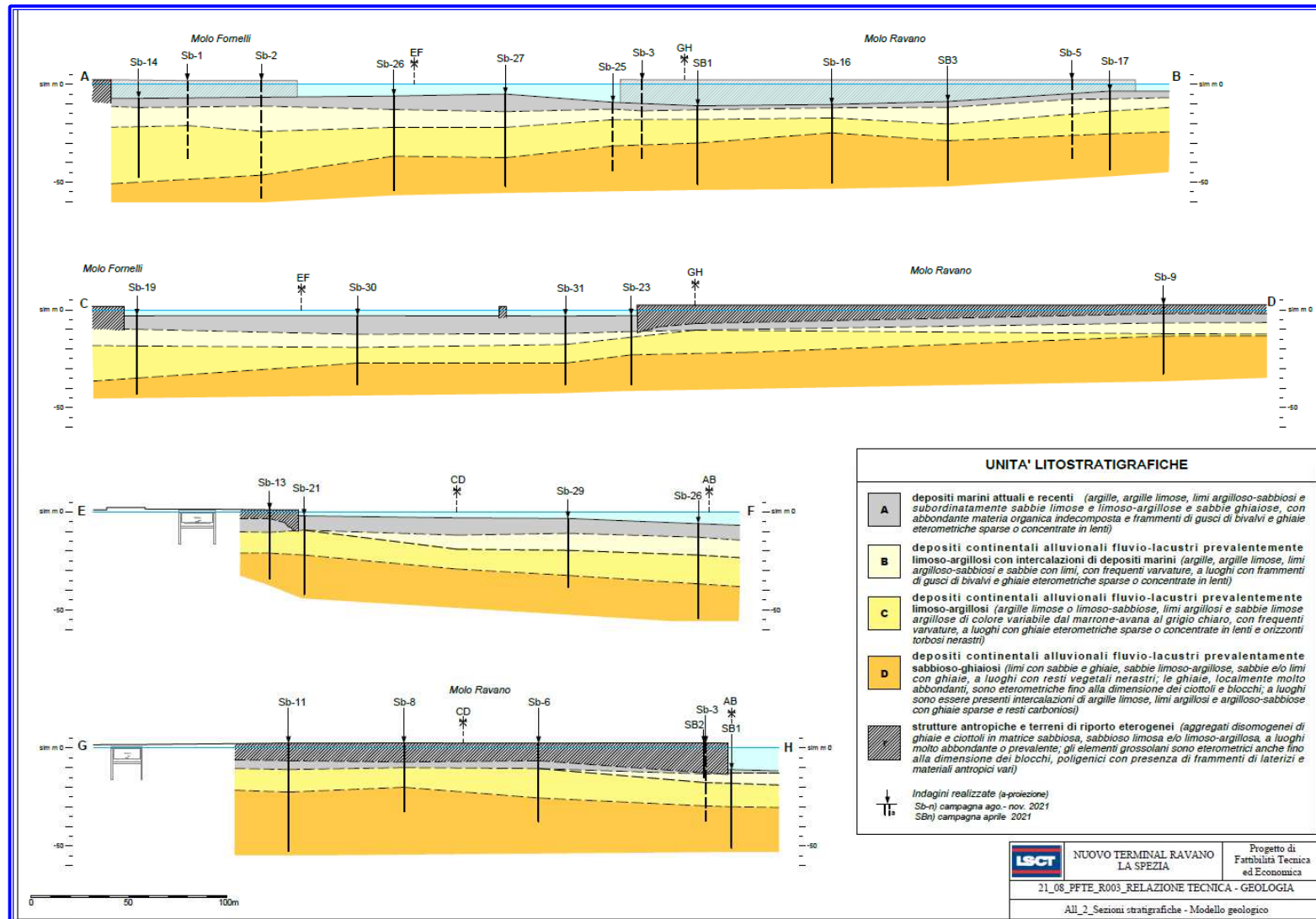
In corrispondenza dell'area di intervento, le unità stratigrafiche sono state definite in fase di **PFTE**¹ sulla base di una serie di sondaggi riportati in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** Le unità stratigrafiche ricostruite in corrispondenza dell'area di intervento sono le seguenti:

- (A) **depositi marini attuali e recenti**, che rappresentano i sedimenti del fondale attuale e quelli posti al disotto delle colmate antropiche già in opera. Sono principalmente costituiti da argille, argille limose, limi argilloso-sabbiosi e subordinatamente da sabbie limose e limoso-argillose e sabbie ghiaiose, di colore grigio-nerastro localmente tendente al bruno, con abbondante materia organica indecomposta (resti algali localmente prevalenti), frammenti di gusci di bivalvi e ghiaie eterometriche sparse o concentrate in lenti. Lo spessore di tali depositi varia notevolmente da zona a zona, con minimi dell'ordine di **1,0 m** e massimi di circa **9,6 m**. Gli spessori maggiori si rilevano in corrispondenza del fondale attuale di **Marina del Canaletto (6,0-9,6 m)**.

¹ **Relazione geologica del PFTE Porto di La Spezia - Ampliamento terminal Ravano, Dicembre 2021.**

- (B) *depositi continentali (alluvionali fluvio-lacustri) di natura prevalentemente limoso-argillosa con intercalazioni di depositi marini*, principalmente costituiti da argille, argille limose, limi argilloso-sabbiosi e sabbie con limi, di colore variabile dal marrone chiaro-avana al grigio, con frequenti varvature, a luoghi con frammenti di gusci di bivalvi e ghiaie eterometriche sparse o concentrate in lenti. Costituiscono presumibilmente depositi fluvio-lacustri e/o di laguna salmastra in cui si intercalano sedimenti francamente marini di fondale poco profondo, legate ad oscillazioni del livello marino. Lo spessore massimo di tale unità è stato rilevato nell'ordine dei **6-7 m**.
- (C) *depositi continentali (alluvionali fluvio-lacustri) di natura prevalentemente limoso-argillosa*, principalmente costituiti da argille limose o limoso-sabbiose, limi argillosi e sabbie limose argillose di colore variabile dal marrone-avana al grigio chiaro, con frequenti varvature, a luoghi con ghiaie eterometriche sparse o concentrate in lenti e orizzonti torbosi nerastri. Costituiscono anch'essi depositi fluvio-lacustri e/o di laguna salmastra caratterizzati da spessori variabili con massimi anche superiori ai **20 m**.
- (D) *depositi continentali (alluvionali fluvio-lacustri e di spiaggia emersa) di natura prevalentemente sabbioso-ghiaiosa* principalmente costituiti da limi con sabbie e ghiaie, sabbie limoso-argillose, sabbie e/o limi con ghiaie di colore variabile dal marrone chiaro al grigio-rossastro, a luoghi con resti vegetali nerastri. La frazione ghiaiosa, localmente molto abbondante, è costituita da elementi prevalentemente arenacei e subordinatamente calcarei o silicei, eterometrici fino alla dimensione dei ciottoli e blocchi, generalmente scarsamente evoluti e sub-angolosi. A luoghi possono essere presenti intercalazioni di argille limose, limi argillosi e argilloso-sabbiose di colore marrone chiaro, grigio-rosato fino al nerastro, con ghiaie sparse e resti carboniosi. A struttura generalmente caotica, costituiscono presumibilmente depositi continentali alluvionali e/o di spiaggia emersa, provenienti in gran parte dall'erosione e rielaborazione dei flysch costituenti i rilievi collinari molto prossimi alla linea di costa. Nel corso dei sondaggi eseguiti non è stata raggiunta la base di tali depositi, almeno fino alle profondità investigate (**~ -58 m slm**). Lo spessore di tale unità risulta pertanto superiore ai **30 m**.

Superficialmente, in corrispondenza delle banchine esistenti, sono presenti **terreni di riporto eterogenei (r)** caratterizzati da una estrema variabilità granulometrica, sia in senso laterale che verticale, in funzione della natura dei terreni di provenienza messi in opera per la formazione delle colmate. Sono essenzialmente costituiti da aggregati disomogenei di ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa, sabbioso limosa e/o limoso-argillosa a luoghi molto abbondante o prevalente di colore variabile dal marrone al grigio nerastro. Gli elementi grossolani sono eterometrici anche fino alla dimensione dei blocchi, poligenici (arenacei, calcarei, ecc...) con presenza anche di frammenti di laterizi e materiali antropici vari. Lo spessore di tali terreni può raggiungere localmente anche i **15,0 m**.



FiguraErrone. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.-3 – Sezioni stratigrafiche di riferimento realizzate nell'ambito del PFTE

3.2. *Caratterizzazione Ambientale dei Sedimenti della Marina del Canaletto del Porto della Spezia ai sensi del D.M. 173/2016 (ottobre 2021)*

Al fine della caratterizzazione dei sedimenti sono stati effettuati **19 carotaggi** della lunghezza di **2 m** ciascuno.

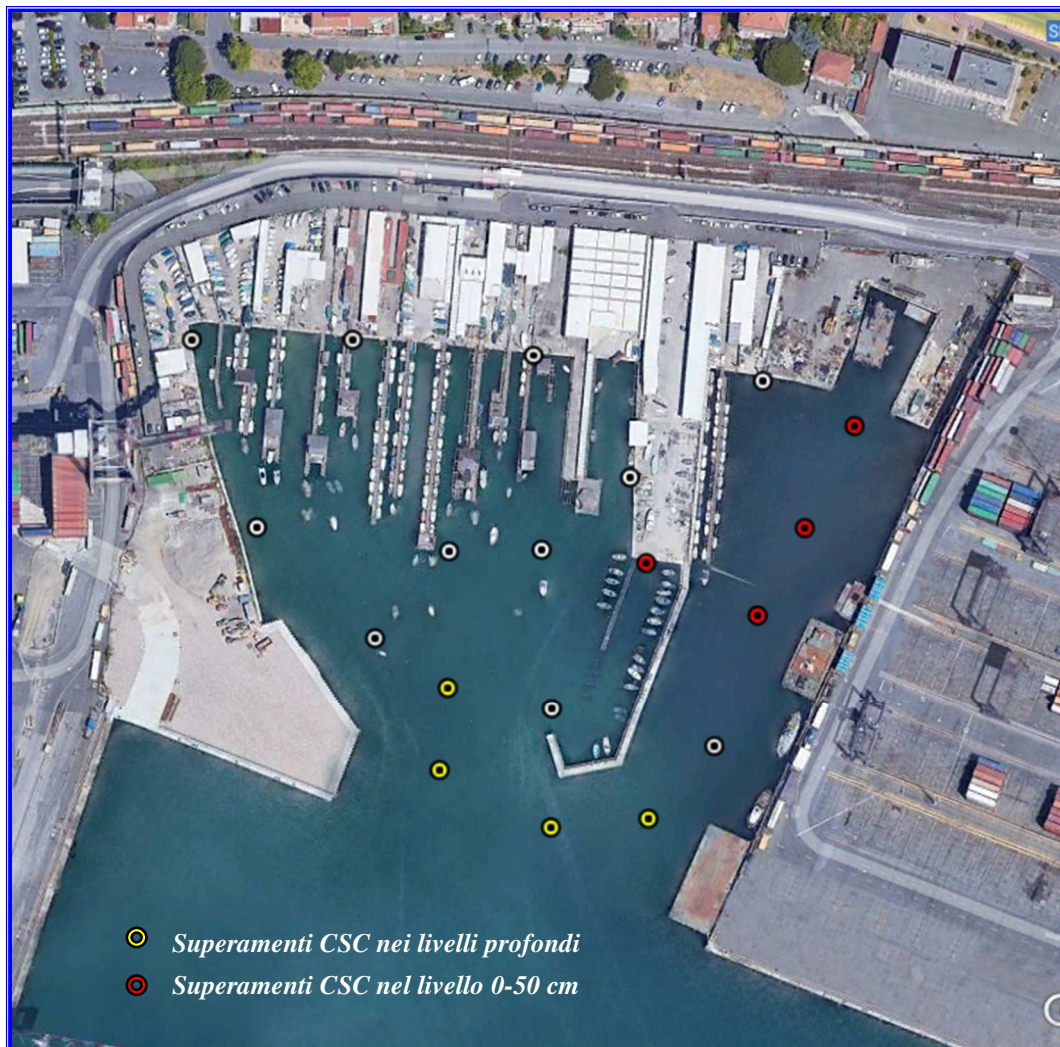
La caratterizzazione è stata eseguita sulla base del **D.M. 15 luglio 2016, n. 173** e sulla base del **D.Lgs. 152/06**, con riferimenti ai limiti (**CSC**) fissati per il suolo con destinazione d'uso industriale (**colonna B, Tab 1, All.5** alla **Parte Quarta** del **D.Lgs. 152/06**).

I sedimenti analizzati sono caratterizzati da un'alta percentuale di **pelite** (i valori misurati oscillano tra un minimo di **52,0%** e un massimo di **97,2%**).

La destinazione d'uso della futura colmata è **industriale**; pertanto, il limite dei materiali in esso contenuta è quella della **Colonna B** della **Tabella 1, Allegato 5** alla **Parte Quarta** del **DLgs 152/06**. **I risultati della caratterizzazione indicano superamenti di tale limite per Idrocarburi C>12 e PCB.**

Tabella -1 – Concentrazioni di Idrocarburi pesanti (IC>12) e PCB nei sedimenti della futura colmata. Nell'immagine è indicata la posizione dei sondaggi e in giallo o rosso i superamenti del limite di colonna B (uso industriale)

sondaggio	Profondità	Idrocarburi C>12	Somma PCB
C3	100-200	805,1	52,555
C3-2	100-200	1879,68	145,065
C4	100-200	1462,05	18,32
C4-3	50-100	1156,58	167,6
C5	0-50	1087,27	0,446
C5-1	0-50	755,16	76,691
C5-3	0-50	986,52	473,669
C6-1	0-50	2021,94	349,503
C6-1	50-100	1232,63	7312,133
C6-1	100-200	5597,68	3145,874



3.3. Caratterizzazione Ambientale della Falda

Nella zona di intervento non sono disponibili *carte idrogeologiche (mappe delle isofreatiche)* redatte dalla *Regione*. L'andamento della falda locale è stato calcolato dal modello numerico di flusso² che ha permesso di ricostruire l'andamento delle *isofreatiche* a partire da dati puntuali di livello piezometrico, registrati in piezometri o pozzi presenti sul territorio.

Tali dati sono stati ottenuti dal *Geoportale* della *Regione*, nella sezione delle indagini geognostiche e da alcuni documenti progettuali reperiti tramite *LSCT*. Sono quindi stati analizzati i dati di falda disponibili in corrispondenza di:

- ✚ *Sito Ex Malco (anno 2010)*
- ✚ *Sito Ex SIO (anno 2018)*
- ✚ *Sito Tamoil (anni 2004-2009)*
- ✚ *Centrale Enel (anno 2021)*
- ✚ *Piezometro al porto in corrispondenza del sondaggio Sb-9 (anno 2021)*
- ✚ *Vari punti di indagine accessibili dal Geoportale della Regione (vari anni)*



Figura-4 – Ubicazione dei punti di misura della falda

Da un punto di vista qualitativo i risultati osservati nei punti di misura sopra indicati evidenziano *una sostanziale non criticità della falda nell'area*.

Per la ricostruzione delle *isofreatiche* si è utilizzato come metodo di interpolazione il *Kriging*³.

² *Vedasi relazione “Analisi della conterminazione della colmata della Marina del Canaletto nel Porto della Spezia per la verifica di assenza di rischi per l'ambiente” del 23 febbraio 2022.*

³ *I processi di interpolazione spaziale nella ricostruzione della superficie piezometrica, C. Cencetti et al., 2007*

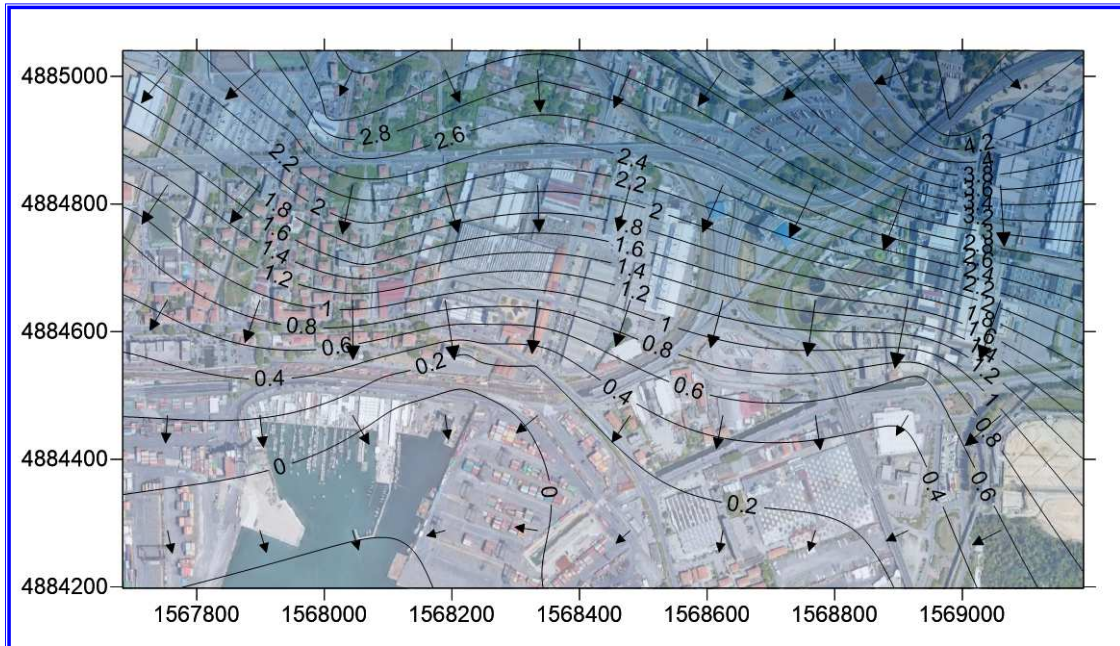


Figura **Errore.** Nel documento non esiste testo dello stile specificato. **-5 – Linee isofreatiche ricostruite con interpolazione Kriging**

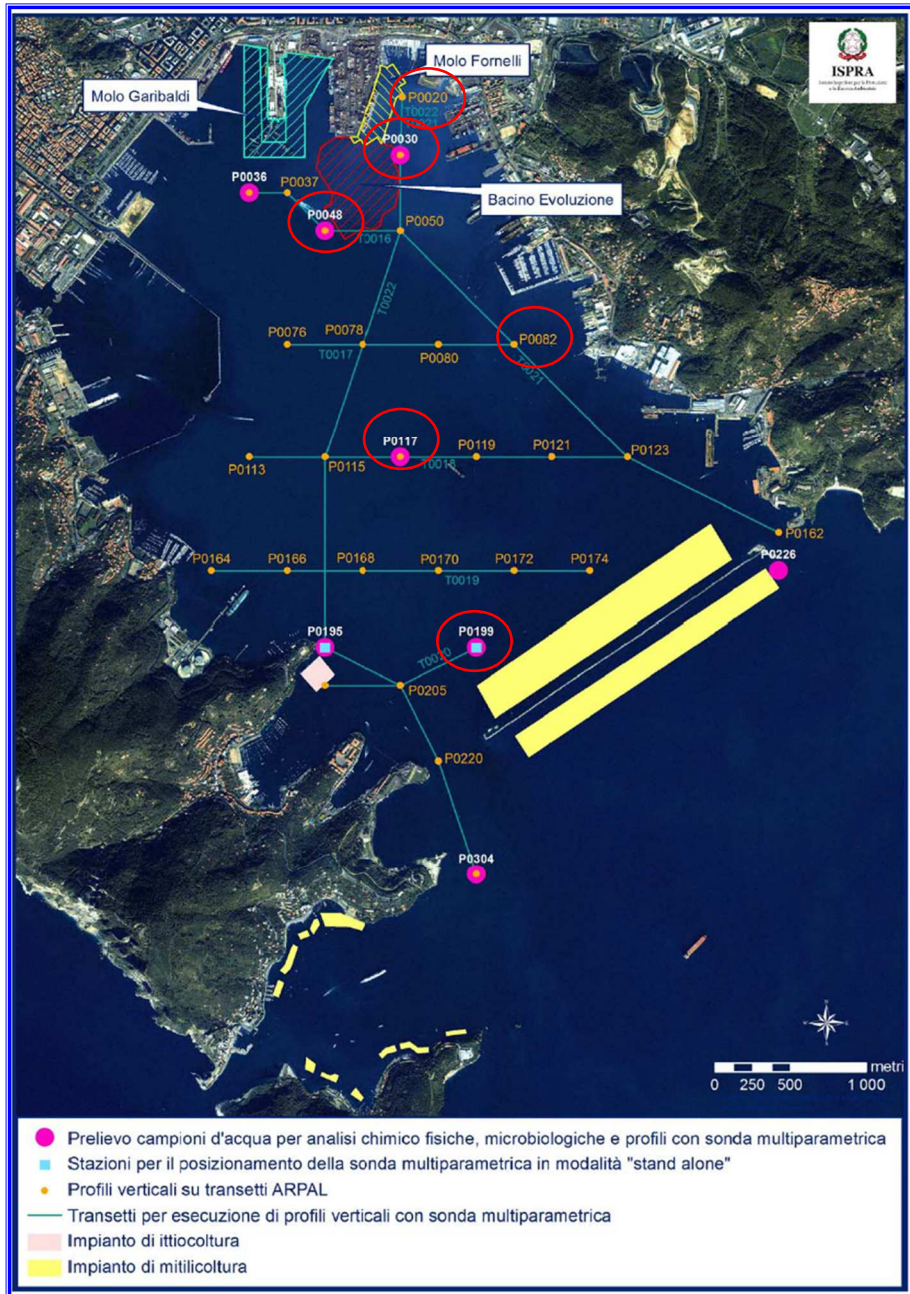
Dall'andamento qualitativo delle isofreatiche deriva quanto segue:

- ✚ *Nella zona a nord del porto, ed in particolare a nord della futura cassa di colmata, la falda si attesta intorno a +0.1-+0.2m slm*
- ✚ *La direzione prevalente della falda è da nord a sud*
- ✚ *Lateralmente la falda tende a drenare verso il mare e di conseguenza la direzione è da nord-est a sud-ovest al lato est del dominio e da nord-ovest a sud est al lato ovest*

Per la soggiacenza della falda nell'area di colmata si rimanda al **Paragrafo 5.3.1** in cui si descrive la geometria delle sorgenti e l'area di studio.

3.4. Caratterizzazioni delle acque marine antistanti la colmata

Sono stati valutati i dati di caratterizzazione **ARPAL** delle acque marine portuali dal **2003** al **2017**. In nessun campione sono stati analizzati gli **IC totali** ma sono noti i dati di concentrazione di **PCB**. Da tutto il data set sono stati valutati i risultati dell'ultimo decennio (periodo dati **2011-2017**) riportati nella **Tabella** che segue. Le concentrazioni di **PCB** nelle acque di mare indicano per tutti i campioni concentrazioni di **PCB** al di sotto del limite di rilevabilità, con limiti di rilevabilità a seconda delle campagne riportati variabili da **0,001 µg/l**, a **0,005 µg/l**, a **0,01 µg/l**, fino a **0,05 µg/l**.



*Figura*Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.-6 - Ubicazione delle stazioni di misura delle ACQUE di ARPAL. Cerchiate le stazioni ove sono stati monitorati i PCB.

4. MODELLO CONCETTUALE DEL SITO

I risultati analitici ed i parametri indicati nel capitolo precedente costituiscono la base di dati cui riferirsi per definire il modello concettuale e definire il grado e l'estensione della contaminazione nel sito. L'elaborazione del **Modello Concettuale Definitivo** è mirata alla rappresentazione dell'interazione tra lo stato di contaminazione del sottosuolo e l'ambiente naturale e/o costruito, sulla base dei risultati delle indagini svolte sul sito e sui risultati ottenuti dal modello precedentemente indicato. Il **Modello Concettuale** costituisce la base per l'applicazione dell'**Analisi di Rischio** che verifica gli scenari di esposizione in esso definiti.

Il **Modello Concettuale Definitivo** include la definizione:

- ✚ *delle vie di migrazione e modalità di esposizione;*
- ✚ *dei bersagli della contaminazione (recettori).*

Di seguito è riportata l'individuazione delle sorgenti, delle vie e modalità di esposizione e dei recettori finali, per il sito oggetto di studio e per gli elementi contaminanti individuati essere presenti in sito.

Come indicato in Premessa con **il termine “falda” d'ora in avanti si identifica la matrice acqua presente all'interno della colmata.** Si mantiene tale termine in analogia con il software di analisi di rischio, ma in realtà le acque della colmata sono **acque marine ed acque interstiziali dei sedimenti con intromissione della falda.**

Importante anche definire che il **Punto di conformità**, ove viene verificato il rispetto degli obiettivi di qualità (nel caso dell'analisi di rischio sanitaria è il rispetto delle **Concentrazioni Soglia di Contaminazione** per le acque sotterranee, ovvero i valori di **Tabella 2**, dell'**Allegato 5** alla **Parte Quarta, Titolo V**, del **D.Lgs. 152/06**), **è il confine della colmata ovvero la prima fila interna delle palancole.** A **progetto è prevista poi una seconda fila di palancole distante da questa 30 m che verrà riempita con materiale inerte.** Tale area non viene considerata nell'analisi di rischio, come non viene considerata la presenza delle palancole a bassa permeabilità ($K=10^{-9}$ m/s per lo spessore equivalente di **1 m**). Il **software** infatti è nato per valutare la diffusione ed il rischio in terreni saturi e non saturi non conterminati. Il **calcolo del rischio considera quindi la colmata come se fosse un riempimento a diretto contatto con il mare** e ciò rappresenta, in termini di risultati, una condizione cautelativa.

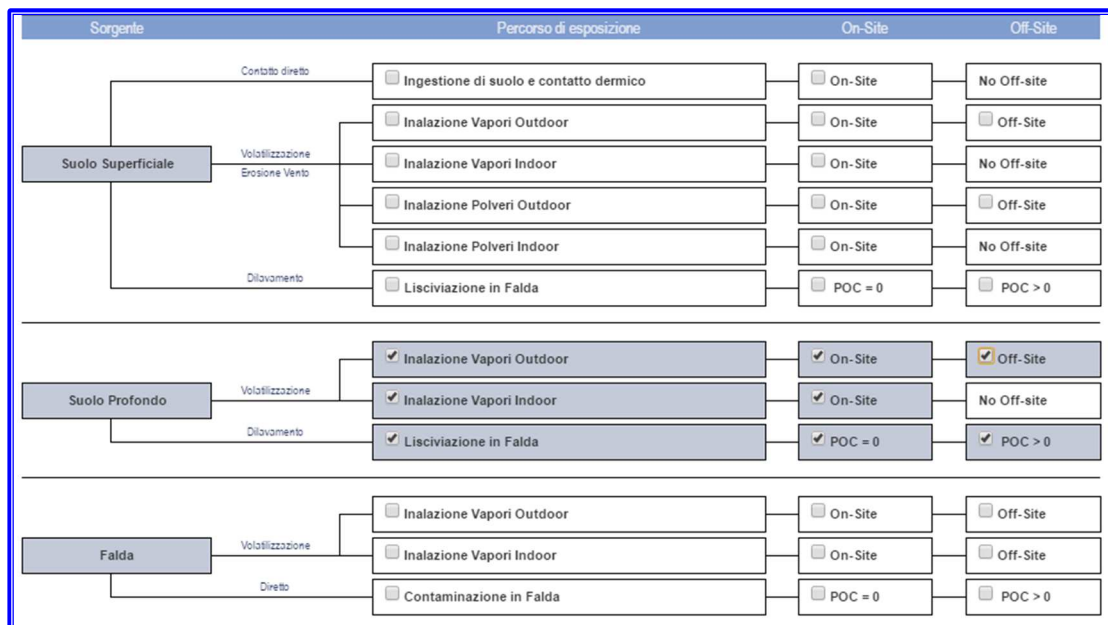
Infatti, la presenza del doppio palancole è un elemento che ancor più limita la diffusione degli inquinanti, come limita la loro diffusione la pavimentazione finale della colmata con relativo drenaggio delle acque meteoriche di piazzale e drenaggio della falda a monte, anch'essi non considerati nell'analisi di rischio.

Per la quantificazione dei flussi dalla colmata verso mare si rimanda alla relazione **“Analisi della conterminazione della colmata della Marina del Canaletto nel Porto della Spezia per la verifica di assenza di rischi per l'ambiente” del 23 febbraio 2022.**

4.1. Vie e modalità di esposizione

Le vie di esposizione sono quelle mediante le quali il potenziale bersaglio entra in contatto con le sostanze inquinanti. Dalle valutazioni, indagini ed analisi svolte sulle componenti ambientali che circondano il sito, è emerso che:

- ✦ il suolo superficiale (costituito dal primo metro di profondità, come indicato nelle Analisi di Rischio) non è contaminato, essendo costituito da inerti di cava e sottofondazione della pavimentazione, ed è pavimentato a costituire piazzale industriale; pertanto, l'erosione del vento non può costituire una via di migrazione della contaminazione presente; possono essere esclusi anche fenomeni di percolazione, vista la presenza di pavimentazione superficiale e rete di drenaggio dei piazzali prevista a progetto;
- ✦ nel piazzale della colmata del Nuovo terminal Ravano la "falda" non è interessata dalla contaminazione, come indicato nel Paragrafo 3.3, se non indirettamente da lisciviazione del suolo profondo (sedimenti del fondo della colmata).
- ✦ La sorgente della contaminazione è quindi il suolo profondo;
- ✦ Il trasporto e la dispersione in "falda" vengono quindi considerati per il suolo profondo, sia "on site" che "off site".
- ✦ Viene considerato il percorso sia "outdoor" che "indoor" per gli operatori che lavoreranno sul piazzale della colmata, in quanto sul piazzale potranno essere realizzati magazzini e capannoni.
- ✦ Viene considerato sia il percorso "on site" (sul piazzale della colmata) che "off site" (sui piazzali vicini);



Pertanto, le modalità di esposizione possono ritenersi potenzialmente rappresentate da *inalazione vapori outdoor* e, cautelativamente, *indoor (da suolo profondo)* e *lisciviazione in "falda" on-site e off-site (mare)*.

La valutazione del rilascio dei contaminanti dalla colmata verso mare è già stata valutata da modello di conterminazione della colmata che, come già riferito, si è concluso con valutazione di flussi insignificanti di contaminanti (*Idrocarburi C>12* e *PCB*) verso mare. La presente analisi fornisce quindi una valutazione aggiuntiva per tale aspetto.

4.2. *Recettori*

I *recettori on site* sono i *lavoratori* della colmata del *Nuovo Terminal Ravano*

I *recettori off site* sono i *lavoratori* delle arre limitrofe alla colmata del *Nuovo Terminal Ravano* e la *risorsa idrica superficiale, ovvero il mare*.

4.3. *Opzioni di calcolo*

Nel *software Risknet 3.1*, utilizzato per l'analisi di rischio, sono implementate, come impostazioni di base (*default*), le equazioni e i criteri di calcolo definiti nelle *Linee Guida ISPRA (2008)*. Tuttavia, per rendere più versatile lo strumento, è possibile attivare e definire alcune opzioni di calcolo integrative. Tali opzioni sono suddivise nelle seguenti schede: "*Volatilizzazione*", "*Lisciviazione*", "*Dispersione in falda*", "*Csat*", "*Esposizione*" e "*Limiti*".

4.3.1. *Volatilizzazione*

Il percorso di volatilizzazione viene considerato nelle simulazioni solo per i contaminanti indicati nella banca dati come VC, VOC* e SVOC* (sulla base di quanto suggerito nel documento di supporto della Banca dati ISS-INAIL, 2018).*

È stata attivata inoltre la voce "*volatilizzazione outdoor da suolo profondo*", affinché il software verifichi che la volatilizzazione da suolo profondo non risulti superiore a quella che si avrebbe per contaminazione nel suolo superficiale (scegliendo il valore minore tra i due fattori di trasporto).

Infine, per la *volatilizzazione outdoor off-site da falda* si è scelto di considerare la volatilizzazione in sorgente e successiva dispersione dei contaminanti in atmosfera (*ADF*) (e non il trasporto *off-site* in "*falda*" (*DAF*) e successiva volatilizzazione, in quanto la "*falda*" *offsite*, nel caso in esame, è il mare che è un bacino disperdente).

Al fine di una maggiore cautela, non vengono invece considerate le possibili biodegradazioni durante la volatilizzazione e l'esaurimento della sorgente per volatilizzazione.

4.3.2. *Lisciviazione*

Per il percorso di lisciviazione si è tenuto conto, tramite un bilancio di materia, dell'esaurimento della sorgente. In particolare, il fattore di lisciviazione viene calcolato selezionando, per ciascun contaminante, il valore minore tra il fattore di trasporto e l'equazione di bilancio di materia.

Non viene attivato il *Soil Attenuation Model (SAM)* in quanto la sorgente è all'interno della "*falda*".

Al fine di una maggiore cautela, non viene considerata la possibile biodegradazioni durante la lisciviazione in falda.

4.3.3. *Dispersione in falda*

La dispersione in falda viene attivata in tutte le direzioni spaziali (DAF1), in quanto il modello del rilascio dei contaminanti dalla colmata ha evidenziato che il flusso dalla concentrazione sorgente è soprattutto verso l'alto e poi in senso orizzontale (laterale e longitudinale).

4.3.4. *Concentrazione di saturazione, Csat*

Per il calcolo del rischio *viene calcolata la concentrazione di saturazione nel suolo (C_{sat})* a cui si raggiunge la solubilità nell'acqua interstiziale e la tensione di vapore nel *soil-gas*. In questo caso quindi per i contatti indiretti (volatilizzazione e lisciviazione) per condizioni di saturazione ($CRS > C_{sat}$) i rischi sono calcolati assumendo come valore di concentrazione disciolta nell'acqua interstiziale la solubilità, mentre viene assunta come concentrazione nel soil-gas la tensione di vapore. Viene di conseguenza attivato il calcolo di esaurimento della sorgente, in modo tal che il software tenga conto di eventuale presenza di fase separata nel bilancio di materia per la stima dell'esaurimento della sorgente.

4.3.5. *Esposizione*

Viene imposto al software di *calcolare i rischi e gli obiettivi di bonifica per il percorso di inalazione utilizzando una concentrazione di riferimento (R_{fC})* per i *non cancerogeni* e *IUR* per i *cancerogeni* e non una dose di riferimento (*R_{fD}*) per i *non cancerogeni* e *SF* per i *cancerogeni*). La differenza sostanziale tra i due approcci è che il metodo basato sull'utilizzo della *dose di riferimento (R_{fD})* prevede una rimodulazione dei rischi in funzione del peso corporeo e del tasso di inalazione, mentre il metodo basato sull'utilizzo delle *concentrazioni di riferimento (R_{fC})* non prevede rimodulazioni in funzione del peso e del tasso di inalazione. Non sapendo ovviamente il peso degli operatori che lavoreranno sulla colmata ed il tasso di inalazione, si è preferito calcolare l'esposizione sulla base della concentrazione sorgente.

4.3.6. *Limiti*

I limiti adottati sono riportati nella seguente tabella:

	<i>Individuale</i>	<i>Cumulativo</i>
<i>Rischio Accettabile</i>	<i>1 E-6</i>	<i>1 E-5</i>
<i>Indice di Pericolo Accettabile</i>	<i>1</i>	<i>1</i>

5. INPUT DEL CALCOLO DEL RISCHIO SANITARIO ED AMBIENTALE

5.1. Contaminanti indicatori e concentrazione rappresentativa della sorgente

Le analisi di caratterizzazione condotte hanno evidenziato il superamento delle **Concentrazioni Soglia di Contaminazione** di cui alla **Colonna B** della **Tabella 1** dell'**Allegato 5** alla **Parte Quarta, Titolo V**, del **DLgs 152/06** per i parametri **Idrocarburi C>12** e **PCB** nei sedimenti del fondo della futura colmata del **Terminal Ravano** nel **Porto della Spezia**. La sorgente della contaminazione è quindi costituita dai sedimenti del fondo della colmata (suolo profondo), in quanto i materiali di riempimento sono costituiti da materiali inerti da cava (o per una quota parziale da sedimenti di dragaggio comunque conformi ai sensi del **D.M. 173/2016**). La definizione della concentrazione rappresentativa della sorgente è stata ampiamente **descritta nel documento “Analisi della conterminazione della colmata della Marina del Canaletto nel Porto della Spezia per la verifica di assenza di rischi per l’ambiente” del 23 febbraio 2022**. Di seguito se ne riportano le conclusioni.

Il valore della **concentrazione rappresentativa della sorgente** è stata calcolata con una analisi statistica dei dati con il **Software ProUCL v.5.1** dell'**EPA**, previsto dalle **Linee Guida APAT del 2006** e **Criteri metodologici APAT 2008, All. H**, per il calcolo della concentrazione alla sorgente. I risultati ottenuti indicano un **UCL al 95%**:

- per **Idrocarburi Pesanti (IC>12)** una concentrazione di **632,4 mg/Kg** (con una distribuzione gamma).
- ✚ per **sommatoria di PCB** una concentrazione di **289,7 µg/Kg** (con una distribuzione lognormale basata sulla statistica H). Tuttavia, ProUCL segnala che il calcolo è emesso solo per ragioni storiche e che la statistica H spesso risulta in valori instabili (sia alti che bassi) di **UCL95**, e pertanto è se possibile da evitare. I dati non seguono una distribuzione non parametrica o gamma (come risulta dall'Allegato 1) quindi per identificare l'**UCL95** può essere scelto Chebyshev che per la distribuzione lognormale fornisce una concentrazione di **308,8 µg/Kg al 95%**.

Le analisi di caratterizzazione disponibili forniscono **valori di IC>12**. Ai fini dell'analisi del rischio tali concentrazioni devono essere attribuite ad una classe idrocarburica fra quelle indicate. Nella banca dati **ISS-INAL 2018**, vengono riportate per le classi **Idrocarburi C>12** i valori delle proprietà chimico fisiche e tossicologiche corrispondenti a due possibili sistemi di classificazione, **[TPHCWG, 1997]** e **[MADEP, 2002]**. Il software **Riscknet 3.1** considera la classificazione **TPHCWG, 1997** (**Tabella 2**).

In analogia a quanto effettuato nella relazione **“Analisi della conterminazione della colmata della Marina del Canaletto nel Porto della Spezia per la verifica di assenza di rischi per l’ambiente”** si è scelta la frazione idrocarburica che fornisce il maggior coefficiente di diffusione in acque, visto che i sedimenti oggetto di analisi sono in ambiente saturo. **Viene pertanto scelta la classe di Aromatici C>12-16 che, fra gli idrocarburi pesanti, sono anche i più volatili.**

Tabella 2 – K_{oc} , $\log K_{ow}$ e coeff. di diffusione in acqua per IC>12 presentati nella banca dati ISS-INAL del 2018. In verde chiaro vengono indicate per ciascuna classe idrocarburica le frazioni più conservative. Fra queste, con bordo rosso, viene indicato il valore più cautelativo scelto per il calcolo.

<i>Specie Chimica</i>	<i>K_{oc} o K_d [ml/g]</i>	<i>log K_{ow} [adim.]</i>	<i>Coeff. Diff. Acqua [cm²/sec]</i>
Idrocarburi (Classificazione TPHCWG)			
Alifatici C >12-16	5,01E+05	7,31	4,61E-06
Alifatici C >16-21	3,98E+08	9,85	3,85E-06
Alifatici C >21-C35	3,98E+08	9,85	3,85E-06
Aromatici C >12-16	6,31E+03	4,87	7,41E-06
Aromatici C >16-21	1,58E+04	5,83	6,54E-06
Aromatici C >21-35	1,26E+05	6,77	5,07E-06

5.2. Fattori di esposizione

I fattori di esposizione per i *lavoratori (uomo adulto)* sono definiti come segue per *onsite e offsite*:

- ✚ *Peso corporeo medio = 70 Kg*
- ✚ *Tempo di mediazione cancerogeni = 70 anni*
- ✚ *Durata esposizione = 25 anni*
- ✚ *Frequenza di esposizione = 250 gg/anni*
- ✚ *Frequenza giornaliera outdoor = 8 ore*
- ✚ *Frequenza giornaliera indoor = 8 ore (solo onsite)*

Esposizione			On Site				Industriale Lavoratore
Ambito		UM	Residenziale				
Parametri di esposizione	Simbolo			Bambini	Adolescenti	Adulti	Anziani
Fattori Comuni							
Peso Corporeo	BW	kg	15	15	70	70	70
Tempo di mediazione cancerogeni	AT	y					70
Durata di esposizione	ED	y	6	10	24	5	25
Frequenza di esposizione	EF	d/y	350	350	350	350	250
Ingestione di suolo							
Frazione di suolo ingerita	FI	-	1	1	1	1	1
Tasso di ingestione suolo	IR	mg/d	200	200	100	100	50
Contatto Dermico							
Superficie di pelle esposta	SA	cm ²	2800	2800	5700	5700	3300
Fattore di aderenza dermica	AF	mg/cm ² /d	0,2	0,2	0,07	0,07	0,2
Inalazione di vapori e polveri outdoor							
Frequenza giornaliera outdoor (c)	EFgo	h/d	24	0,5	24	1,9	8
Tasso di inalazione di vapori e polveri outdoor (a);(b)	Bo	m ³ /h	0,7	0,7	0,9	0,9	2,5
Frazione di suolo nella polvere outdoor	Fsd	-	1	1	1	1	1
Inalazione di vapori e polveri indoor							
Frequenza Giornaliera Indoor	EFgi	h/d	24	19,6	24	22,4	8
Tasso di inalazione di vapori e polveri indoor (b)	Bi	m ³ /h	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9
Frazione di suolo nella polvere indoor	Fi	-	1	1	1	1	1
Ingestione di acqua							
Tasso di Ingestione di acqua	IRw	L/d	1	1	2	2	1

Esposizione			Off Site				Industriale Lavoratore
Ambito		UM	Residenziale				
Parametri di esposizione	Simbolo			Bambini	Adolescenti	Adulti	Anziani
Fattori Comuni							
Peso Corporeo	BW	kg	15	15	70	70	70
Tempo di mediazione cancerogeni	AT	y					70
Durata di esposizione	ED	y	6	10	24	5	25
Frequenza di esposizione	EF	d/y	350	350	350	350	250
Inalazione di vapori e polveri outdoor							
Frequenza giornaliera outdoor (c)	EFgo	h/d	24	0,5	24	1,9	8
Tasso di inalazione di vapori e polveri outdoor (a);(b)	Bo	m ³ /h	0,7	0,7	0,9	0,9	2,5
Frazione di suolo nella polvere outdoor	Fsd	-	1	1	1	1	1
Inalazione di vapori indoor							
Frequenza Giornaliera Indoor	EFgi	h/d	24	19,6	24	22,4	8
Tasso di inalazione di vapori e polveri indoor (b)	Bi	m ³ /h	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9
Ingestione di acqua							
Tasso di Ingestione di acqua	IRw	L/d	1	1	2	2	1

Figura -7 – Parametri di esposizione per i lavoratori on site e off site

5.3. Parametri del sito

5.3.1. Geometria delle sorgenti e parametri meteo

Nel modello di calcolo dell'analisi di rischio si è posta una unica geometria delle sorgenti per entrambi i parametri **IC>12** e **PCB**.

In analogia con il calcolo della concentrazione sorgente presentato nella relazione **“Valutazione del potenziale rischio ambientale dei sedimenti costituenti i fondali della colmata”** si è voluto **cautelativamente considerare come sorgente l'intera superficie del fondo della colmata. La zona sorgente è quindi pari a tutta la superficie della colmata e per uno spessore di 2 m.**

L'estensione della sorgente nella direzione del flusso di **“falda”** è quindi stata posta **pari a 200 m** che corrisponde alla lunghezza della colmata dalla banchina a terra verso mare. Analogamente, l'estensione della sorgente ortogonalmente alla direzione del flusso della **“falda”** è stata posta pari a **250 m**, pari alla larghezza media della colmata (si ricorda che il fronte della banchina è più corto e pari a **156 m**).

Al fine di valutare la geometria della sorgente rispetto alla direzione del vento sono stati analizzati i dati meteo presenti nella banca dati della **Regione Liguria**. Per la località **La Spezia** i dati di **intensità media del vento** indicano dal **2010** al **2021** valori che oscillano da **2,4** a **2,7 m/s**, con un valore medio di **2,5 m/s**. Per la **precipitazione cumulata** i valori dal **2010** al **2021** oscillano da un valore di **764,2 mm/anno** ad un valore di **1.843,8 mm/anno**, con un valore medio di **1.179,75 mm/anno**.

Tabella Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.-3 Intesnsità media del vento, precipitazione ed ubiocazione della stazione La Spezia (banca dati Regione Liguria)

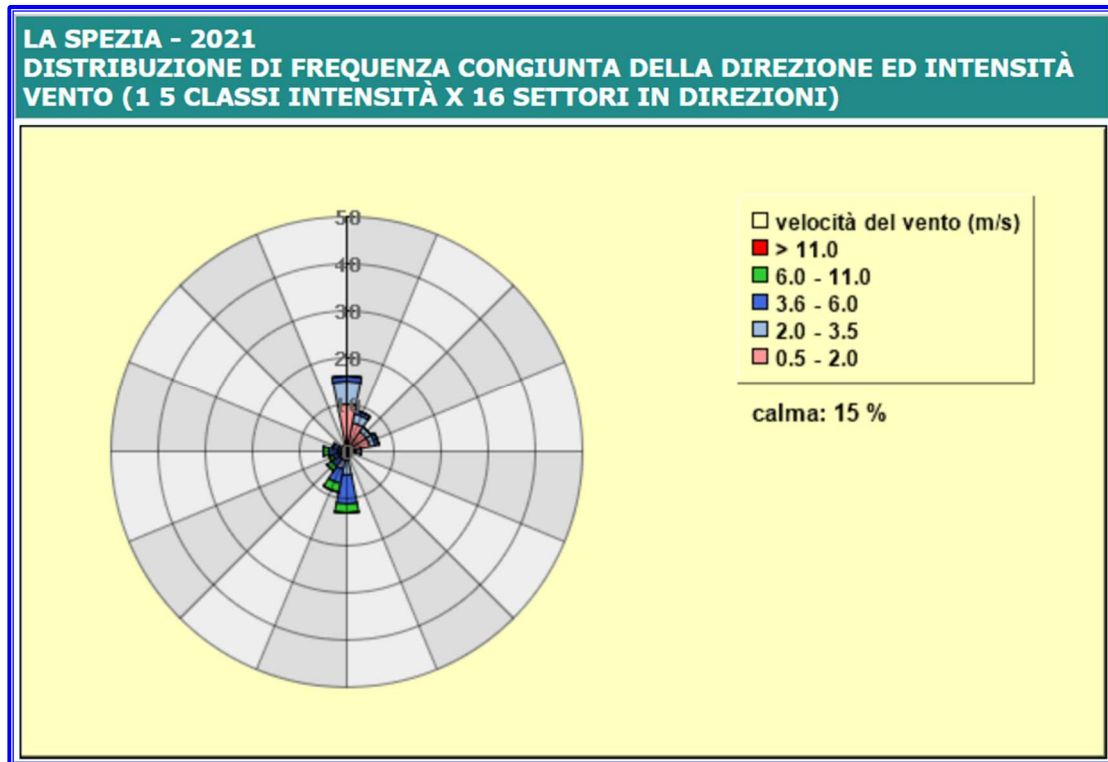
Località: LA SPEZIA				
Parametro meteorologico: VENTO - INTENSITÀ MEDIA DEL VENTO (m/s)				
Inizio rilevazione	Fine rilevazione	Valore	Dataset	Valido
01/01/2010	31/12/2010	2.7	Tutti i dati	Sì
01/01/2011	31/12/2011	2.6	Tutti i dati	Sì
01/01/2012	31/12/2012	2.7	Tutti i dati	Sì
01/01/2013	31/12/2013	2.6	Tutti i dati	Sì
01/01/2014	31/12/2014	2.6	Tutti i dati	Sì
01/01/2016	31/12/2016	2.5	Tutti i dati	Sì
01/01/2017	31/12/2017	2.4	Tutti i dati	Sì
01/01/2018	31/12/2018	2.4	Tutti i dati	Sì
01/01/2019	31/12/2019	2.4	Tutti i dati	Sì
01/01/2020	31/12/2020	2.4	Tutti i dati	Sì
01/01/2021	31/12/2021	2.5	Tutti i dati	Sì
Dati letti 11				
Dati validi 11				

Località: LA SPEZIA				
Parametro meteorologico: PRECIPITAZIONE - PRECIPITAZIONE CUMULATA (mm)				
Inizio rilevazione	Fine rilevazione	Valore	Dataset	Valido
01/01/2010	31/12/2010	1843.8	Tutti i dati	Sì
01/01/2011	31/12/2011	746.4	Tutti i dati	Sì
01/01/2012	31/12/2012	1146	Tutti i dati	Sì
01/01/2013	31/12/2013	1632.4	Tutti i dati	Sì
01/01/2014	31/12/2014	1581.8	Tutti i dati	Sì
01/01/2015	31/12/2015	940.4	Tutti i dati	Sì
01/01/2016	31/12/2016	1110	Tutti i dati	Sì
01/01/2017	31/12/2017	764.2	Tutti i dati	Sì
01/01/2018	31/12/2018	1004.6	Tutti i dati	Sì
01/01/2019	31/12/2019	1306.2	Tutti i dati	Sì
01/01/2020	31/12/2020	960.6	Tutti i dati	Sì
01/01/2021	31/12/2021	1120.6	Tutti i dati	Sì
Dati letti 12				
Dati validi 12				

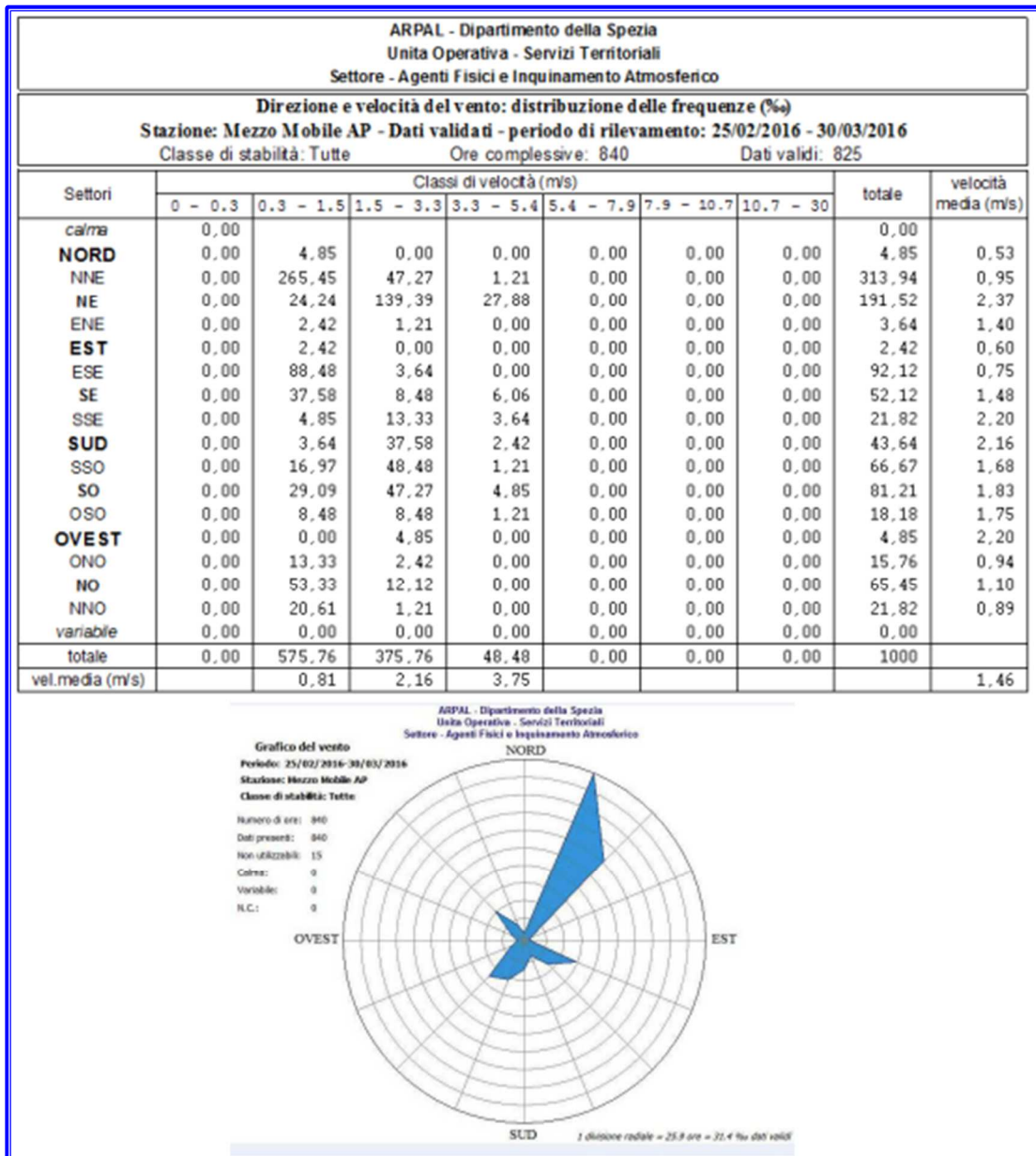


La direzione media annuale del vento osservata dal **2010** al **2021** indica una componente principale da **N-NE**. In figura seguente è indicata la distribuzione di frequenza congiunta alla direzione ed intensità del vento per il **2021** nella stazione della **Regione Liguria “La Spezia”**.

Localmente alla *Marina del Canaletto* nel monitoraggio *ARPAL* del 2016, periodo *febbraio-marzo 2016*⁴ la *velocità del vento media osservata è risultata pari a 1,46 m/s ed un direzione NE*. Ai fini dell'analisi di rischio di considera quindi la situazione del lungo periodo invernale, e rilevata da *ARPAL*, con direzione *NNE*. *Le corrispondenti dimensioni della sorgente nel senso della direzione principale del vento ed ortogonale ad essa sono mediamente 200 m e 250 m* (considerando un valor medio della geometria della colmata).



⁴ *Campagna di monitoraggio della qualità dell'aria effettuata nell'ambito dell'accordo di collaborazione tra ARPAL e Autorità Portuale della Spezia presso "Marina del Canaletto", Comune della Spezia, 25 febbraio ÷ 30 marzo 2016 (ARPAL: https://www.arpal.liguria.it/images/stories/meteo/Documenti_sito/Spezia/QAria/2016/campagne_lab_mobile/viale_S_Bartolomeo-Marina_Canaletto_2016.pdf)*



La profondità del top della sorgente nel suolo profondo, rispetto al p.c., è posta pari a 5,5 m. Essendo la quota di fondale variabile mediamente da 3 a 5 m si è voluta considerare la quota inferiore (2,5 m quota del futuro piazzale, 3 m di riempimento con materiale sottostante). Lo spessore della sorgente nel suolo profondo insaturo è stato posto pari a 2 m, considerando, come ampiamente indicato per il calcolo della concentrazione sorgente, tutti i 2 m di sedimenti sottostanti come concentrazione sorgente.

La *soggiacenza della "falda"* dal piano campagna nell'area di colmata è stata valutata dal modello descritto nella relazione *"Analisi della conterminazione della colmata della Marina del Canaletto nel Porto della Spezia per la verifica di assenza di rischi per l'ambiente"* del 23 febbraio 2022, e valutata per due opzioni di materiali di riempimento, materiale inerte di cava e sedimenti di dragaggio conformi ai requisiti del *D.M. 173/2016*.

La presente analisi di rischio sarà sviluppata considerando i materiali di riempimento della colmata caratterizzati da composizione grossolana, ovvero costituiti esclusivamente da inerti da cava. Questa è la soluzione che comporta una maggiore diffusione dei contaminanti (sia verso i potenziali recettori che verso l'ambiente) essendo la permeabilità maggiore. Nel caso i materiali da cava venissero miscelati a sedimenti marini, la permeabilità complessiva diminuirebbe, riducendo ulteriormente il rischio.

Nella relazione *“Analisi della conterminazione della colmata della Marina del Canaletto nel Porto della Spezia per la verifica di assenza di rischi per l'ambiente”* del *23 febbraio 2022* lo *stato di progetto*, nell'*opzione 1*, è stato studiato facendo variare la permeabilità del materiale di riempimento della colmata ed analizzando le differenze in termini di carico piezometrico rispetto allo stato di fatto. È stato analizzato un intervallo di permeabilità del *materiale di riempimento della colmata, tipico di materiali grossolani e non coesivi*: in questo modo, anche dal punto di vista applicativo, per la scelta del tipo di materiale (cava) sarà possibile fornire un *range di permeabilità* adatte piuttosto che un singolo valore. I valori analizzati in particolare sono: *1 E-3 m/s* e *1 E-4 m/s*. All'interno della colmata, la *“falda”* si assesta intorno ad un valore di *0.4 m slm*, ovvero ad una profondità di *2.1 m* dal nuovo piano campagna, posto a quota *+2.5 m slm*, con una differenza insignificante fra *1 E-3 m/s* e *1 E-4 m/s*.

Lo *Stato di Progetto*, nell'*Opzione 2*, è stato studiato considerando una permeabilità del materiale di riempimento tipico dei *sedimenti di dragaggio*, pari a *1 E-5 m/s*, ed analizzando le differenze in termini di carico piezometrico rispetto allo *SDF*. Come indicato in premessa, i sedimenti di dragaggio che potranno essere refluiti in colmata dovranno essere *conformi al refluitamento così come previsto dal D.M. 173/16*. In questo caso l'innalzamento della *“falda”* è circa *5 cm* superiore rispetto alla *opzione 1*.

Per il calcolo dell'analisi di rischio sanitaria, anche in questo caso, è stata considerata l'opzione più cautelativa, adottando una permeabilità maggiore (1 E-3 m/s), ed un livello della “falda” a profondità di 2.1 m dal piano campagna)

Nella figura che segue sono riassunti i valori utilizzati per definire la geometria della sorgente.

Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Geometria Sorgenti					
Definisci geometria sorgenti		<input checked="" type="checkbox"/> Stessa dimensione per tutte le sorgenti			
Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	W	45	200	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	Sw	45	250	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Altezza della zona di miscelazione in aria	δair	2	2	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W'	45	200	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale a quella del vento	Sw'	45	250	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Suolo Superficiale					
Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	Ls,SS	0	0	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Spessore della sorgente nel suolo superficiale insaturo	d	1	1	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Suolo Profondo					
Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	Ls,SP	1	5,5	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Spessore della sorgente nel suolo profondo insaturo	ds	2	2	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Falda					
Soggiacenza della falda da p.c.	Lgw	3	2,1	m	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.-8 – Geometria della sorgente

5.3.2. Zona insatura

La zona insatura è costituita a progetto da materiali di riempimento per la formazione del piazzale del terminal. Il progettista ha fornito le seguenti indicazioni per i materiali di riempimento (sia per la zona satura che insatura):

- ✚ *granulometria media dei materiali di riempimento equiparabile a sabbie grossolane*
- ✚ *porosità variabile da 25% a 40%, con un valore medio del 35%*
- ✚ *densità del materiale di riempimento 1,8 g/cm³.*

Il *software Risknet 3.1*, relativamente alla granulometria tipica delle “sabbie” fornisce un *valore di default di 38,5% per la porosità efficace del terreno* in zona insatura. Tale valore, sebbene superiore a quello medio indicato dal progettista, è stato comunque cautelativamente mantenuto.

La frazione di carbonio organico nel suolo superficiale è quella indicata dal programma, ovvero *0,01 g/g*, mentre per il *suolo profondo* il valore è stato posto pari a quello osservato per i sedimenti, pari a *0,0183 g/g* (il valore medio di *TOC⁵* nei sedimenti è *1,83%*).

L'infiltrazione efficace nel suolo viene calcolata anche in questo caso supponendo che la pavimentazione del piazzale non sia completamente impermeabile (prevedendo quindi cautelativamente una possibilità di *fratturazione superficiale*, come indicato in tabella che segue). Per il calcolo viene quindi indicata la *piovosità media desunta dai dati della banca dati della Regione come precedentemente descritti*.

⁵ *Carbonio Organico Totale.*

Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Zona Insatura ★ Default Copia tabella Help					
Tessitura della Zona Insatura					
Seleziona la tessitura rappresentativa del suolo insaturo			Sand		
Porosità efficace del terreno in zona insatura	θ_e	Letteratura	0.385	-	✓
Contenuto volumetrico di acqua nel suolo	θ_w	Letteratura	0.068	-	✓
Contenuto volumetrico di aria nel suolo	θ_a	Letteratura	0.317	-	✓
Contenuto volumetrico di acqua nella frangia capillare	θ_w, cap	Letteratura	0.33	-	✓
Contenuto volumetrico di aria nella frangia capillare	θ_a, 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	✓
Lente a bassa permeabilità sopra la sorgente (volatilizzazione da suolo profondo e falda)			<input type="checkbox"/> Inserisci lente		
Caratteristiche della Zona Insatura					
Densità del suolo	ps	1.7	1,8	g/cm ³	✓
pH del suolo	pH	6.8	6,8	-	✓
Frazione di carbonio organico - suolo superficiale	foc,SS	0.01	0,01	g/g	✓
Frazione di carbonio organico - suolo profondo	foc,SP	0.01	0,0183	g/g	✓
Frazione residua dei pori nel suolo (per calcolo Cres)	Sr	0.04	0,04	m	✓
Spessore della zona insatura	hv	Calcolato	2.000	m	✓
Infiltrazione nel sottosuolo					
Calcola l'infiltrazione efficace nel suolo			<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato		
Piuvosità media annua	P	129	117,975	cm/y	✓
Frazione areale di fratture outdoor	η_{out}	1	1	-	✓
Infiltrazione efficace nel suolo	ief	Calcolato	25.05	cm/y	✓
Telo in HDPE o strato a bassa permeabilità tra la sorgente e la falda (lisciviazione da suolo in falda)			<input type="checkbox"/> Inserisci		
Altri parametri intermedi					
Spessore della zona di miscelazione in falda	δ_{gw}	Calcolato	7.40	m	no check
Fattore di diluizione in falda	LDF	Calcolato	11.48	-	no check

Figura-9 – Parametri per la zona insatura

5.3.3. Zona satura

La zona satura è costituita da materiali di riempimento da cava, possibilmente miscelati a sedimenti marini idonei. Per la zona satura il coefficiente di **Conducibilità idraulica del terreno saturo**, come indicato nel **Paragrafo 5.3.1.**, è stato assunto pari a **1 E-3 m/s.**

Come precedentemente indicato, il progettista ha fornito le seguenti indicazioni per i materiali di riempimento (sia per la zona satura che insatura):

- ✚ **granulometria media dei materiali di riempimento equiparabile a sabbie grossolane**
- ✚ **porosità variabile da 25% a 40% con un valore medio del 35%**
- ✚ **densità del materiale di riempimento 1,8 g/cm³.**

Lo **spessore dell'acquifero** (che ovviamente sono le acque del mare miste alle acque di falda) **va dalla quota +0,4 m slm fino alla quota -5 m slm, a comprendere i 2 m di sedimenti considerati potenzialmente contaminati.** I tal modo la **“falda”** ingloba completamente la concentrazione sorgente, massimizzando l'effetto di rilascio in **“falda”**.

Il **gradiente idraulico** è stato calcolato dai risultati del modello. Il gradiente interno alla colmata, con ***K*** di riempimento di **$10^{-3}m/s$** , indica un carico a monte della colmata (in corrispondenza di palancole esistenti) pari a **$0,45 m slm$** . Essendo la lunghezza della colmata, nella direzione del flusso di **“falda”**, pari a circa **$200 m$** , il corrispondente carico piezometrico è **$0,45 m / 200 m = 0,00225$** .

Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Tessitura della Zona Saturata					
Seleziona la tessitura rappresentativa del suolo saturo			Sito-specifico		
Conducibilità idraulica del terreno saturo	Ksat	7.90e-5	0,001	m/s	✓
Porosità efficace del terreno in zona saturo	ße,sat	0.353	0,385	-	✓
Caratteristiche della Zona Saturata					
Spessore acquifero	da	2	5,4	m	✓
Gradiente idraulico	i	0.01	0,00225	m/m	✓
Velocità di Darcy	vgw	Calcolato	2.25e-6	m/s	✓
Velocità media effettiva nella falda	ve	Calcolato	5.84e-6	-	✓
Frazione di carbonio organico - suolo saturo	foc,sat	0.001	0,0183	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			<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato		
Dispersione longitudinale in falda	ax	Calcolato	10.00	m	✓
Dispersione trasversale in falda	ay	Calcolato	3.33	m	✓
Dispersione verticale in falda	az	Calcolato	0.50	m	✓

FiguraErrore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.-10 – Parametri per la zona saturo

5.3.4. Outdoor

La **velocità del vento**, come indicato al **Paragrafo 5.3.1.**, è pari a **$2,5 m/s$** . Il **recettore off-site** viene posto immediatamente adiacente alla fila esterna di palancole, ovvero a **$30 m$** dalla **colmata**, essendo questa la distanza media fra la doppia fila di palancole prevista a progetto (colmata realizzata da doppia fila di palancole distanti fra loro circa **$30 m$**).

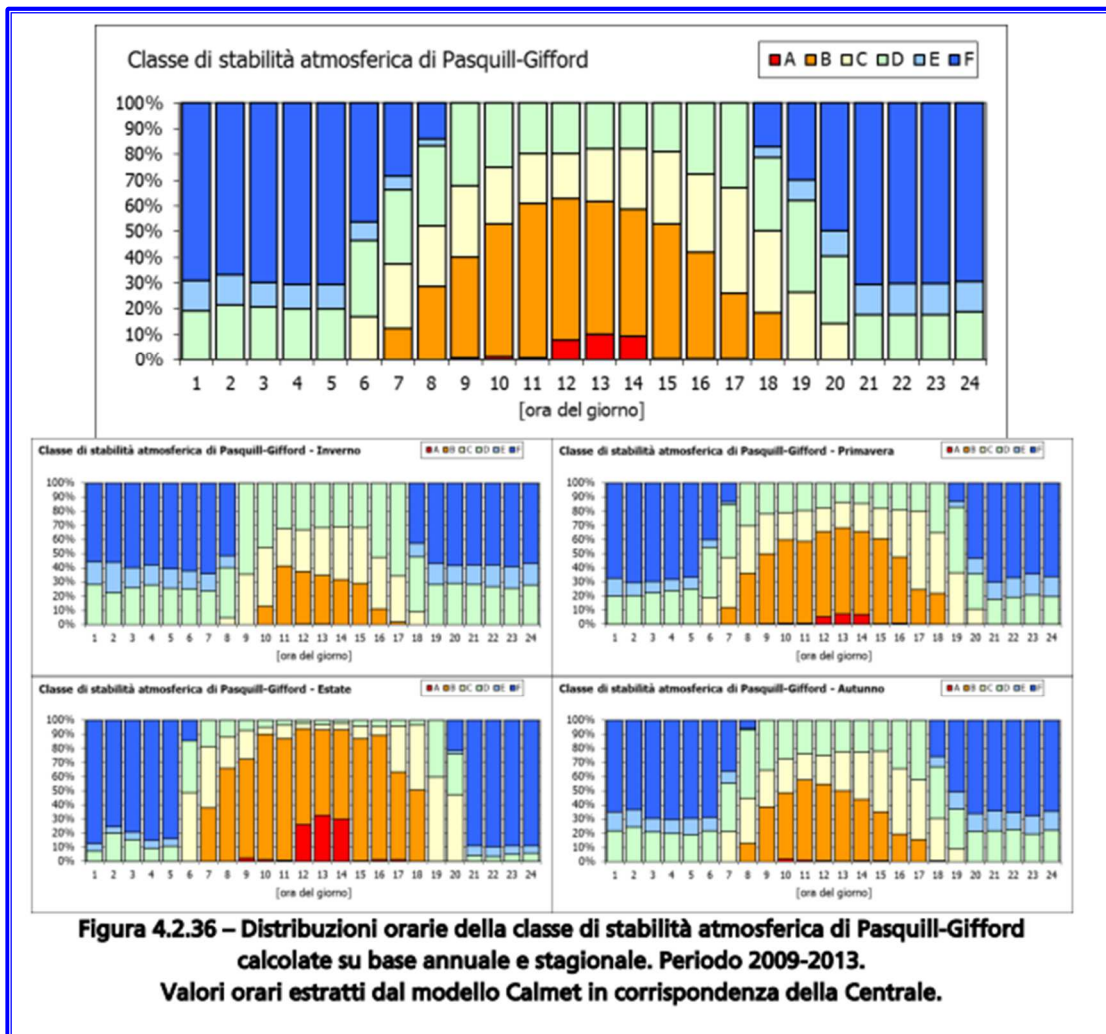
Per la definizione dei dati meteo outdoor si è fatto riferimento ai dati meteo della **Regione** precedentemente indicati ed allo studio atmosferico allegato allo **Studio di Impatto Ambientale** della **Centrale Termoelettrica “Eugenio Montale”** di **La Spezia** presentato nel **2019** a **VIA⁶**, che fornisce indicazioni sulla classe di stabilità atmosferica dell’area.

La **Figura** sotto riportata indica i dati del quinquennio **2009-2013** e la distribuzione nelle ore del giorno della classe di stabilità atmosferica secondo la classificazione di **Pasquill-Gifford**, calcolata dal modello **Calmet** su base annuale e stagionale.

Si evidenzia l’effetto mitigante del mare e quello della sostenuta circolazione atmosferica che accentuano la frequenza della **classe “D” neutra** a scapito delle classi

⁶ <https://va.minambiente.it/File/Documento/355257>

più stabili, durante le ore notturne, e di quelle più instabili di giorno. Tale comportamento è tipico dei siti costieri dove avviene la transizione tra le caratteristiche dell'atmosfera di ambienti marini e di quelle terrestri.



Ai fini dell'analisi sanitaria e dell'utilizzo del piazzale portuale sono da considerare sia le ore diurne che notturne, in quanto l'attività lavorativa del piazzale può essere *h24*.

La classe da considerare ai fini della analisi di rischio sanitaria e ambientale è pertanto la D-urbana.

Outdoor					
Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Dati Meteo					
Velocità del vento	Uair	2.25	2,5	m/s	✓
Calcola velocità del vento		<input type="checkbox"/> Calcolato			
Portata di particolato per unità di superficie	Pe	6.9e-14	6.9e-14	g/cm/s ²	✓
Dispersione in atmosfera					
Distanza recettore off site - ADF	POC ADF	100	30	m	✓
Classe di Stabilità Atmosferica		Urbano - Classe D ▾			
Coefficiente di dispersione trasversale	σ_y	Calcolato	4.77	m	✓
Coefficiente di dispersione verticale	σ_z	Calcolato	4.18	m	✓
Profondità della zona aerobica da p.c.	La Outdoor	1	1	m	✓

Figura-11 – Parametri per l'outdoor

5.3.5. Indoor

Non sono al momento note le geometrie delle strutture che potranno essere eseguite sul piazzale della futura colmata del **Terminal di Ravano**. Per la **valutazione del rischio in ambiente indoor vengono quindi lasciati inalterati i parametri standard** suggeriti dal software.

Indoor					
Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Caratteristiche edificio on-site					
Profondità delle fondazioni da p.c.	Z crack	0.15	0,15	m	✓
Spessore delle fondazioni	L crack	0.15	0,15	m	✓
Frazione areale di fratture indoor	η	0.01	0,01	m ² /m ²	✓
Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione	Lb	3	3	m	✓
Contenuto volumetrico di acqua nelle fondazioni	$\theta_w, crack$	0.12	0,12	-	✓
Contenuto volumetrico di aria nelle fondazioni	$\theta_a, crack$	0.26	0,26	-	✓
Tasso di ricambio di aria indoor	ER	0.00023	0,00023	1/s	✓
Differenza di pressione tra outdoor e indoor	Δp	0	0	g/cm/s ²	no check
Flusso convettivo entrante nell'edificio		<input type="checkbox"/> Inserisci valore sito-specifico			
Superficie totale coinvolta nell'infiltrazione	Ab	70	70	m ²	✓
Permeabilità del suolo al flusso di vapore*	Kv	1e-12	1e-12	m ²	✓
Perimetro delle fondazioni/muri	x crack	34	34	m	✓
Viscosità del vapore	μ_{air}	0.000181	0,000181	g/cm/s	✓
Flusso convettivo entrante nell'edificio	Qs	Calcolato	0.00e+0	L/min	✓
Profondità della zona aerobica dalle fondazioni	La Indoor	1	1	m	✓

Figura-12 – Parametri indoor

6. VALUTAZIONI DEL RISCHIO

6.1.1. Rischio

Con i dati di input indicati nei capitoli precedenti si ottengono il rischio e l'indice di pericolo calcolati per il suolo profondo indicati nella tabella che segue. In **Tabella** vengono mostrati i rischi per la salute umana (**R** e **HI**) individuali (per il singolo contaminante) e cumulati (totali, calcolati come sommatoria dei rischi di ogni contaminante inserito) e i rischi per la risorsa idrica (**Rgw**) calcolati per la sorgente "suolo profondo" selezionata nel modello concettuale.

Nella seconda colonna della tabella vengono riportate le **Concentrazioni Rappresentative alla Sorgente (CRS)** definite come concentrazione rappresentativa alla sorgente.

Csat è la concentrazione di saturazione chimico fisica che per **PCB totali** risulta più alta, mentre è più bassa per gli **IC>12**.

Cres è pertanto la **concentrazione residua (mobilità del prodotto libero), che di conseguenza risulta presente solamente per gli IC>12**.

I rischi (R) e gli indici di pericolo (HI) per la salute umana risultano inesistenti, in quanto la sorgente suolo profondo non riesce a generare i rischi e perché IC>12 e PCB sono composti poco volatili⁷. Essi sono individuati calcolando il **rischio** e l'**indice di pericolo** per ciascuna via di esposizione e scegliendo il valore più conservativo (ovvero il valore maggiore) tra i rischi derivanti da esposizione in ambienti confinati (**indoor**), da esposizione in ambienti aperti (**outdoor**).

Il rischio per la Risorsa Idrica (Rgw) è calcolato come rapporto tra la concentrazione al punto di esposizione e la CSC⁸ di riferimento per le acque sotterranee; pertanto, un valore superiore ad 1 (indicato in rosso) indica un superamento della CSC delle acque sotterranee on site, mentre off-site il valore è rispettato.

Off-site non sussiste rischio per la risorsa idrica, per lisciviazione del suolo profondo, né per IC>12 è per PCB.

A tal fine ricordiamo inoltre che la simulazione non considera la presenza delle palancole, ma la semplice diffusione tramite la "falda" verso il mare.

Per una valutazione delle relative concentrazioni si rimanda al **Paragrafo 6.1.3.**

⁷ *A solo titolo informativo si è provato pure ad attivare il percorso di volatilizzazione considerando IC>12 e PCB come fossero volatili, sebbene non suggerito dalla Banca dati ISS-INAL (vedasi Paragrafo 4.3.1.). Anche in tal caso il rischio è considerato accettabile (cumulato outdoor on site e offsite R=4,43e-10 HI=2,27e-3; cumulato indoor R = 2,63 E-9, HI=1,35 E-2).*

⁸ *Concentrazione Soglia di Contaminazione di cui alla Tabella 2 dell'Allegato 5 alla Parte Quarta del D.Lgs. 152/06.*

Dettaglio Rischi - Suolo Profondo					On-Site		On-Site		On-Site	Off-Site		Off-Site
Contaminante	CRS	f	CRS/f	C _{sat}	Vapori Outdoor		Vapori Indoor		Lisciviazione	Vapori Outdoor		Lisciviazione
					R	HI	R	HI	R _{gw}	R	HI	R _{gw}
	mg/kg	-	mg/kg	mg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-
PCB Totali	3.08e-1		3.08e-1	1.00e+3	-	-	-	-	2.49e+0	-	-	5.30e-1
Aromatici C >12-16	6.32e+2		6.32e+2	1.07e+3	-	-	-	-	1.81e+0	-	-	3.85e-1
Rischio Cumulato					-	-	-	-	-	-	-	-

Figura **Errore.** Nel documento non esiste testo dello stile specificato. -13 – Dettaglio Rischi da suolo profondo
 R (HH) = Rischio cancerogeno, HI (HH) = Indice di pericolo, R_{gw} (GW) = Rischio per la risorsa idrica

6.1.2. *Fattori di trasporto*

Di seguito vengono presentati i fattori di trasporto per le vie di migrazione attivate nel modello concettuale. *LF* è il *fattore di lisciviazione in “falda”*, ovvero il rapporto fra concentrazione nella “falda” rispetto alla concentrazione nel sedimento del fondo della colmata. *DAF* è il *fattore di attenuazione “falda”* ed esprime il rapporto tra la concentrazione di un contaminante in corrispondenza della *sorgente secondaria in “falda”* *C_s (falda)* e la concentrazione al punto di esposizione *C_{po} (falda)*, ovvero nel nostro caso le acque interstiziali. *ADF* è il fattore di dispersione in atmosfera.

Fattori di trasporto - Suolo Profondo							
Contaminante	Dsp,eff	Dcrack,eff	LF	VF samb	VF sesp	DAF sp	ADF sp
	cm ² /s	cm ² /s	(mg/L)/(mg/kg)	(mg/m ³)/(mg/kg)	(mg/m ³)/(mg/kg)	(mg/L)/(mg/L)	(mg/m ³)/(mg/m ³)
PCB Totali	-	-	8.09e-5	-	-	4.70e+0	1.00e+0
Aromatici C >12-16	-	-	1.00e-3	-	-	4.70e+0	1.00e+0

Figura-14 – Rischio da suolo profondo

LF = Fattore di lisciviazione, DAF = Fattore di diluizione in falda, ADF = Fattore di dispersione in atmosfera.

6.1.3. *Concentrazioni attese on-site e off-site*

Nella *Tabella* che segue vengono riportate le concentrazioni attese *on-site* e *off-site* per il percorso da suolo profondo. Vengono indicate le concentrazioni per la “*falda*” in quanto *le concentrazioni per i percorsi dei vapori non risultano calcolabili*.

Oltre alle concentrazioni *CRS* e *Csat* precedentemente indicate vengono riportate anche le concentrazioni della “*falda*” *on-site* e *off-site*. Esse risultano per *PCB* *pari a 2,49 E-5 mg/L in colmata e 5,30 E-06 mg/L esternamente ad essa (in assenza di palancole)*.

Tali risultati sono in linea con quanto indicato nella relazione “*Analisi della conterminazione della colmata della Marina del Canaletto nel Porto della Spezia per la verifica di assenza di rischi per l’ambiente*”, in cui si indicava per i *PCB* nelle acque interne alla colmata una concentrazione 1-2 ordini di grandezza inferiori a *2,16 E-4 mg/L*.

Per *IC>12* risultano *pari a 6,33E-1 mg/l in colmata e 1,35 E-01 esternamente ad essa (in assenza di palancole)*. Anche tali risultati sono in linea con quanto indicato nella relazione “*Analisi della conterminazione della colmata della Marina del Canaletto nel Porto della Spezia per la verifica di assenza di rischi per l’ambiente*”, in cui si indicava per le acque interne alla colmata una concentrazione 1-2 ordini di grandezza inferiori a *6,911 mg/L*.

Concentrazione al POE - Percorso da Suolo Profondo							
Contaminante	CRS	Csat	On-site			Off-site	
			Vapori Outdoor	Vapori Indoor	Falda	Vapori Outdoor	Falda
			mg/m ³	mg/m ³	mg/L	mg/m ³	mg/L
PCB Totali	3.08e-1	1.00e+3	-	-	2,49e-5	-	5.30e-6
Aromatici C >12-16	6.32e+2	1.07e+3	-	-	6.33e-1	-	1.35e-1

Figura-15 – Concentrazione al POE per suolo profondo.

CRS = Concentrazione rappresentativa in sorgente, Csat = Concentrazione di saturazione, Falda = Concentrazione attesa in falda on-site e off-site

Nei grafici che seguono sono riportati, in funzione delle concentrazioni sorgente indicate, le *concentrazioni attese nelle diverse matrici (eluato/acqua interstiziale, "falda")*. Tali figure permettono di valutare la ripartizione e il trasporto di *PCB* e *IC>12* dai sedimenti alle acque della colmata e da queste verso l'esterno. La schematizzazione sottorappresentata, riporta un disegno che indica un possibile rilascio dal terreno saturo verso la falda, che normalmente avviene verso il basso come raffigurato. Nel caso di specie, invece, la diffusione è stata calcolata per tutte le direzioni (*DAFI*), come indicato nel *Paragrafo 4.3.3*, in quanto così definito dai calcoli di flusso del modello *3D*. Tale raffigurazione può essere utilizzata per confrontare i risultati attesi dai modelli di trasporto rispetto ai valori misurati in campo (anche se per la presenza delle palancole e del fattore di diluizione con il mare, esternamente alla colmata ci si attendono concentrazioni molto più basse).

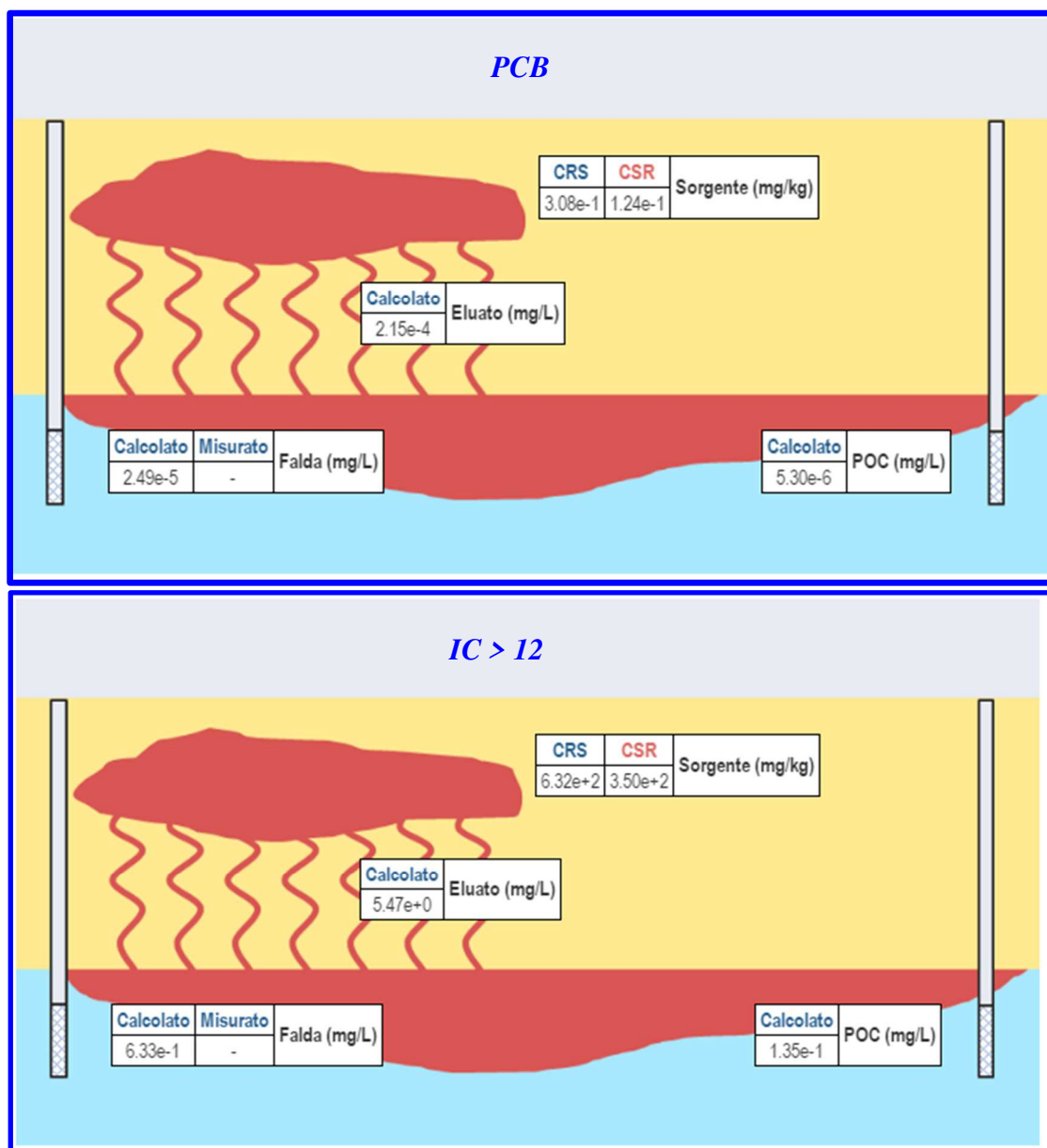


Figura-16 – Concentrazioni di *IC>12* e *PCB* ottenuta dall'analisi di rischio

6.1.4. *Tassi di esposizione on-site e off-site*

Nelle tabelle che seguono sono riportati i *tassi di esposizione per i lavoratori* sia *on-site* che *off-site* e per una situazione *indoor* e *outdoor*.

Tassi di Esposizione On Site

Contaminante	Ingestione di suolo		Contatto dermico		Inalazione outdoor		Inalazione indoor		Ingestione di acqua	
	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC
	mg/(kg·d)	mg/(kg·d)	mg/(kg·d)	mg/(kg·d)	-	-	-	-	L/(kg·d)	L/(kg·d)
PCB Totali	-	-	-	-	8.15e-2	2.28e-1	8.15e-2	2.28e-1	-	-
Aromatici C >12-16	-	-	-	-	8.15e-2	2.28e-1	8.15e-2	2.28e-1	-	-

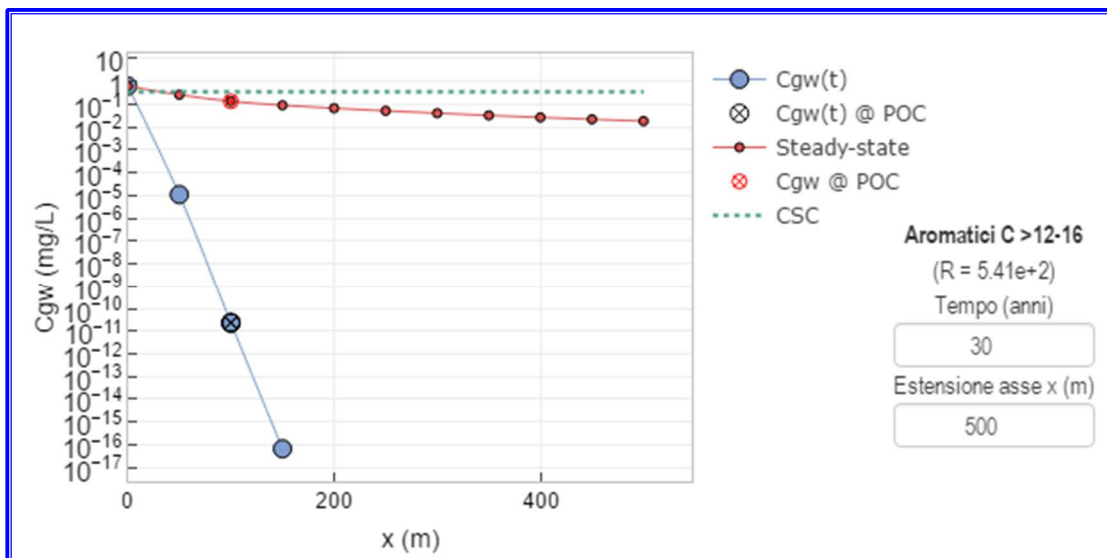
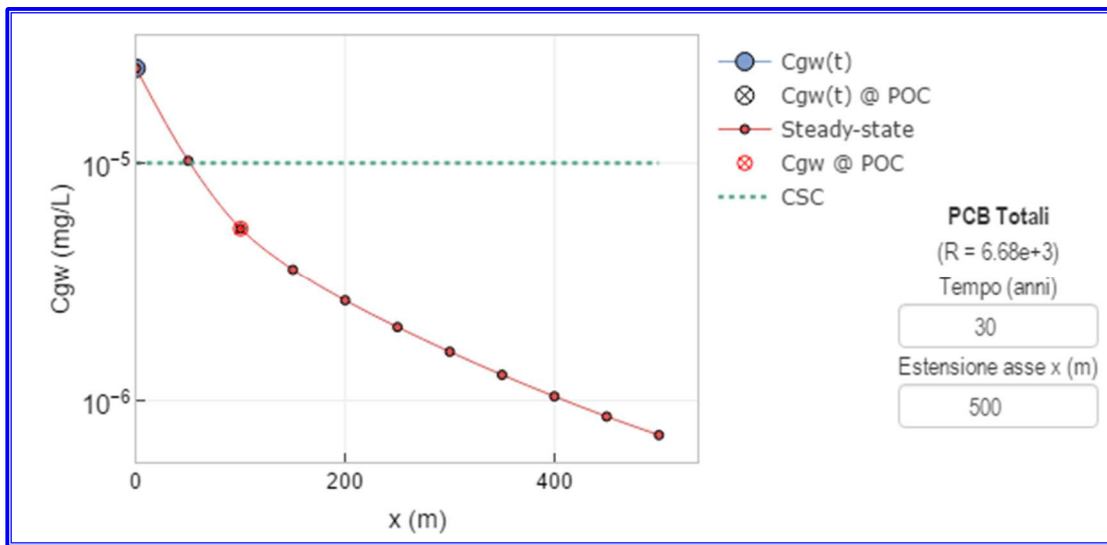
Tassi di Esposizione Off Site

Contaminante	Inalazione outdoor		Inalazione indoor		Ingestione di acqua	
	C	NC	C	NC	C	NC
	-	-	-	-	L/(kg·d)	L/(kg·d)
PCB Totali	8.15e-2	2.28e-1	-	-	-	-
Aromatici C >12-16	8.15e-2	2.28e-1	-	-	-	-

Figura Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.-17 – Tassi di esposizione on-site e off-site per inalazione outdoor e indoor

6.1.5. Trasporto off-site

Per il trasporto off-site in atmosfera non è possibile rappresentare un grafico di dispersione sulla distanza in quanto, come si è visto nei precedenti capitoli, **non è presente un rischio per l'atmosfera, dato che la sorgente è il suolo profondo, costituito da inquinanti poco volatili presenti nei sedimenti del fondo della colmata**. Nelle figure che seguono è possibile valutare il **trasporto off-site dei contaminanti in "falda"**. I grafici mostrano, nel caso del trasporto in "falda", la concentrazione del contaminante selezionato in funzione del tempo e dello spazio. È stato impostato un valore di distanza dalla colmata pari a **500 m** ed un tempo di **30 anni**.



FiguraErrore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.-18 – Trasporto off site per IC>12 e PCB totali

Nei grafici sopra riportati si osserva che la *concentrazione in “falda” al punto di conformità (C_{gw} @POC) in colmata POC=0) è praticamente pari alle CSC per IC>12 e superiore per PCB, come descritto in precedenza.*

Ad una distanza di circa 50 m la concentrazione di PCB già risulta pari alle CSC. Importante osservare che tale valutazione è effettuata in assenza di palancole e che lo spazio fra la doppia fila di palancole è di 30 m che nel caso di calcolo con analisi di rischio, per come è strutturato il software, non può essere inserita. Tenendo quindi conto dello spazio fra la doppia fila di palancole e della bassa permeabilità ($K=10^{-9}$ m/s) di ciascun elemento, si può ritenere che tale concentrazione venga raggiunta all'interno del doppio palancoleto.

È importante inoltre sottolineare che il software calcola la dispersione off site considerando il mezzo saturo uniforme (come se esternamente alle palancole continuasse ad essere presente materiale inerte sopra i sedimenti e che ci fosse un unico flusso di “falda” che continuasse a fluire). In realtà esternamente alle palancole il flusso in uscita si miscela al mare, aumentando enormemente la diluizione. Conseguentemente la concentrazione in funzione dello spazio subisce una rapida diminuzione. Se si aggiunge la presenza di palancole il flusso in uscita diminuisce drasticamente: per la quantificazione del flusso in uscita si rimanda alla relativa Relazione precedentemente citata.

Per gli IC>12 il software fornisce anche una riduzione delle concentrazioni nel tempo. Risulta che gli IC>12 si degradano molto rapidamente e che dopo pochi anni la concentrazione è già molto bassa, per praticamente annullarsi dopo 20-30 anni.

Il software non fornisce analogo valutazione per *PCB*.

7. CONCLUSIONI

I risultati dell'analisi di rischio ambientale e sanitaria hanno permesso di:

- ✚ *Valutare l'assenza di rischio sanitario per i lavoratori sia in ambiente outdoor che indoor, sia on-site che off-site;* la sorgente di contaminazione (posta cautelativamente nell'analisi alla quota di -3m sul lm), è costituita da contaminanti non considerati volatili, ubicati nel suolo profondo saturo a cui vengono sovrapposti circa **5,5 m** di materiale inerte o sedimenti idonei. Tale condizione elimina qualsiasi possibilità di volatilizzazione dei contaminanti (già di per sé poco o non volatili) alle concentrazioni rilevate e per le vie di esposizione indicate.
- ✚ *Valutare assenza di rischio per la risorsa idrica superficiale che, si ricorda, nel caso di specie viene valutata in assenza del doppio palancolato a bassa permeabilità*

In *Allegato 1* è riportato il *Report* prodotto dal software *Risknet 3.1* ed in *Allegato 2* il file del progetto. I risultati ottenuti hanno inoltre *confermato i risultati ottenuti nella relazione "Analisi della conterminazione della colmata della Marina del Canaletto nel Porto della Spezia per la verifica di assenza di rischi per l'ambiente"* del 23 febbraio 2022, *relativi alla valutazione delle potenziali concentrazioni presenti all'interno della colmata e che potrebbero diffondere verso l'ambiente.*

Sulla base dei risultati dell'analisi di rischio sanitaria ed ambientale qui eseguita si conferma dunque l'assenza di rischio per i lavoratori e l'ambiente della colmata di progetto realizzata lasciando in sito i sedimenti del fondo della colmata, risultati con sporadici superamenti delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione di cui alla Colonna B della Tabella 1, Allegato 5 alla Parte Quarta, Titolo V, del D.Lgs 152/06, per Idrocarburi C>12 e PCB.

8. ALLEGATI

Allegato 1: *Report Analisi di Rischio – Software Risknet 3.1*

Allegato 2: *File progetto Risknet 3.1*



Nome del sito:	Copy of Terminal Ravano
Nome sub-area:	La Spezia
Data:	Marzo 2022
Tipo di analisi:	Calcolo Rischi (Modalità Diretta)
Note:	-



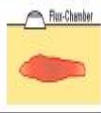
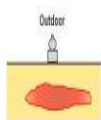



Modello Concettuale del Sito

Sorgente		Percorso di esposizione	Bersaglio	
Suolo Superficiale	Contatto diretto	Ingestione di suolo e contatto dermico	On-Site	No Off-site
		Volatilizzazione	Inalazione Vapori Outdoor	On-Site
	Inalazione Vapori Indoor		On-Site	No Off-site
	Inalazione Polveri Outdoor		On-Site	Off-Site
	Inalazione Polveri Indoor		On-Site	No Off-site
	Dilavamento		Lisciviazione in Falda	POC = 0
Suolo Profondo	Volatilizzazione	Inalazione Vapori Outdoor	On-Site	Off-Site
		Inalazione Vapori Indoor	On-Site	No Off-site
	Dilavamento	Lisciviazione in Falda	POC = 0	POC > 0
Falda	Volatilizzazione	Inalazione Vapori Outdoor	On-Site	Off-Site
		Inalazione Vapori Indoor	On-Site	Off-Site
	Diretto	Contaminazione in Falda	POC = 0	POC > 0

Recettori on-site: Lavoratori

Recettori off-site: Lavoratori

Caratterizzazione integrativa

Tipo di misura		Tipo di recettore
Misure soil-gas outdoor		Recettori on-site
		Recettori off-site
Misure soil-gas indoor		Recettori on-site
		No Off-Site
Misure con camere di flusso		Recettori on-site
		Recettori off-site
Misure in Aria Outdoor		Recettori on-site
		Recettori off-site
Misure in Aria Indoor		Recettori on-site
		No Off-Site
Test di cessione (Suolo Superficiale)		POC = 0
		POC > 0
Test di cessione (Suolo Profondo)		POC = 0
		POC > 0

Opzioni di Calcolo

Descrizione	Valore
Considera esaurimento sorgente nel suolo superficiale per volatilizzazione	✗
Considera esaurimento sorgente nel suolo profondo per volatilizzazione	✗
Considera attenuazione vapori quando sorgente nel suolo al di sotto del p.c.	✗
Utilizza il minore tra il fattore di volatilizzazione da suolo profondo e suolo superficiale	✓
Volatilizzazione Outdoor off-site da falda	Trasporto in atmosfera (ADF)
Considera la biodegradazione durante il percorso di volatilizzazione	✗
Considera esaurimento sorgente nel suolo superficiale per lisciviazione in falda	✗
Considera esaurimento sorgente nel suolo profondo per lisciviazione in falda	✓
Considera attenuazione durante lisciviazione da suolo superficiale (SAM)	✗
Considera attenuazione durante lisciviazione da suolo profondo (SAM)	✗
Considera la biodegradazione durante il percorso di lisciviazione in falda	✗
Dispersione in falda	Dispersione in tutte le direzioni (DAF1)
Verifiche sullo spessore di miscelazione in falda	✗
Considera biodegradazione durante trasporto in falda	✗
Considera Csat per calcolo del Rischio e delle CSR	✓
Considera Csat solo per il calcolo delle CSR	✗
Considera l'eventuale presenza di fase separata nell'esaurimento della sorgente	✓
Considera ADAF	✗
RfD vs RfC	RfC
Considera la frazione bioaccessibile per il percorso di ingestione di suolo	✗
Rischio Accettabile	
Individuale	0.000001
Cumulato	0.00001
Indice di Pericolo Accettabile	
Individuale	1
Cumulato	1

CRS

Contaminante	Suolo Superficiale	Suolo Profondo	Falda	Eluato da suolo superficiale	Eluato da suolo profondo	Soil-gas Outdoor	Soil-gas Indoor	Flux Chamber	Aria Outdoor	Aria Indoor
-	mg/kg	mg/kg	mg/L	mg/L	mg/L	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
PCB Totali		3.08e-1	-	-	-	-	-	-	-	
Aromatici C >12-16		6.32e+2	-	-	-	-	-	-	-	

Fattori di esposizione - On Site

Esposizione			On Site				
Ambito			Residenziale				Industriale
Parametri di esposizione	Simbolo	UM	Bambini	Adolescenti	Adulti	Anziani	Lavoratore
Fattori Comuni							
Peso Corporeo	BW	kg	15	15	70	70	70
Tempo di mediazione cancerogeni	AT	y	70				
Durata di esposizione	ED	y	6	10	24	5	25
Frequenza di esposizione	EF	d/y	350	350	350	350	250
Ingestione di suolo							
Frazione di suolo ingerita	FI	-	1	1	1	1	1
Tasso di ingestione suolo	IR	mg/d	200	200	100	100	50
Contatto Dermico							
Superficie di pelle esposta	SA	cm ²	2800	2800	5700	5700	3300
Fattore di aderenza dermica	AF	mg/cm ² /d	0.2	0.2	0.07	0.07	0.2
Inalazione di vapori e polveri outdoor							
Frequenza giornaliera outdoor (c)	EFgo	h/d	24	0.5	24	1.9	8
Tasso di inalazione di vapori e polveri outdoor (a);(b)	Bo	m ³ /h	0.7	0.7	0.9	0.9	2.5
Frazione di suolo nella polvere outdoor	Fsd	-	1	1	1	1	1
Inalazione di vapori e polveri indoor							
Frequenza Giornaliera Indoor	EFgi	h/d	24	19.6	24	22.4	8
Tasso di inalazione di vapori e polveri indoor (b)	Bi	m ³ /h	0.7	0.7	0.9	0.9	0.9
Frazione di suolo nella polvere indoor	Fi	-	1	1	1	1	1
Ingestione di acqua							
Tasso di Ingestione di acqua	IRw	L/d	1	1	2	2	1

Fattori di esposizione - Off Site

Esposizione			Off Site				
Ambito			Residenziale				Industriale
Parametri di esposizione	Simbolo	UM	Bambini	Adolescenti	Adulti	Anziani	Lavoratore
Fattori Comuni							
Peso Corporeo	BW	kg	15	15	70	70	70
Tempo di mediazione cancerogeni	AT	y	70				
Durata di esposizione	ED	y	6	10	24	5	25
Frequenza di esposizione	EF	d/y	350	350	350	350	250
Inalazione di vapori e polveri outdoor							
Frequenza giornaliera outdoor (c)	EFgo	h/d	24	0.5	24	1.9	8
Tasso di inalazione di vapori e polveri outdoor (a);(b)	Bo	m³/h	0.7	0.7	0.9	0.9	2.5
Frazione di suolo nella polvere outdoor	Fsd	-	1	1	1	1	1
Inalazione di vapori indoor							
Frequenza Giornaliera Indoor	EFgi	h/d	24	19.6	24	22.4	8
Tasso di inalazione di vapori e polveri indoor (b)	Bi	m³/h	0.7	0.7	0.9	0.9	0.9
Ingestione di acqua							
Tasso di Ingestione di acqua	IRw	L/d	1	1	2	2	1

Parametri del sito - Geometria Sorgenti

Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Geometria Sorgenti					
Stessa dimensione per tutte le sorgenti					
Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	W	45	200	m	✔
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	Sw	45	250	m	✔
Altezza della zona di miscelazione in aria	∂air	2	2	m	✔
Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W'	45	200	m	✔
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale a quella del vento	Sw'	45	250	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	5.5	m	✔
Spessore della sorgente nel suolo profondo insaturo	ds	2	2	m	✔
Soggiacenza della falda da p.c.	Lgw	3	2.1	m	✔

Parametri del sito - Zona Insatura

Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Zona Insatura					
Tessitura rappresentativa del suolo insaturo			Sand		
Porosità efficace del terreno in zona insatura	θ_e	Letteratura	0.385	-	✓
Contenuto volumetrico di acqua nel suolo	θ_w	Letteratura	0.068	-	✓
Contenuto volumetrico di aria nel suolo	θ_a	Letteratura	0.317	-	✓
Contenuto volumetrico di acqua nella frangia capillare	$\theta_{w,cap}$	Letteratura	0.33	-	✓
Contenuto volumetrico di aria nella frangia capillare	$\theta_{a,cap}$	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	Letteratura	8.25e-5	m	✓
Battente idrico in superficie	Hw	0.25	0.25	m	✓
Densità del suolo	ρ_s	1.7	1.8	g/cm ³	✓
pH del suolo	pH	6.8	6.8	-	✓
Frazione di carbonio organico - suolo superficiale	foc,SS	0.01	0.01	g/g	✓
Frazione di carbonio organico - suolo profondo	foc,SP	0.01	0.0183	g/g	✓
Frazione residua dei pori nel suolo (per calcolo Cres)	Sr	0.04	0.04	m	✓
Spessore della zona insatura	hv	Calcolato	2.000	m	✓
Infiltrazione efficace calcolata					
Piuvosità media annua	P	129	117.975	cm/y	✓
Frazione areale di fratture outdoor	η_{out}	1	1	cm/y	✓
Infiltrazione efficace nel suolo	ief	Calcolato	25.05	cm/y	✓
Spessore della zona di miscelazione in falda	δ_{gw}	Calcolato	5.40	m	no check
Fattore di diluizione in falda	LDF	Calcolato	8.65	-	no check

Parametri del sito - Zona Saturata

Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Zona Saturata					
Tessitura rappresentativa del suolo saturo		Sito-specifico			
Conducibilità idraulica del terreno saturo	Ksat	Letteratura	1.00e-3	m/s	✔
Porosità efficace del terreno in zona saturo	$\theta_{e,sat}$	Letteratura	0.385	-	✔
Spessore acquifero	da	2	5.4	m	✔
Gradiente idraulico	i	0.01	0.00225	m/m	✔
Velocità di Darcy	vgw	Calcolato	2.25e-6	m/s	✔
Velocità media effettiva nella falda	ve	Calcolato	5.84e-6	-	✔
Frazione di carbonio organico - suolo saturo	foc,sat	0.001	0.0183	g/g	✔
Frazione residua dei pori nel suolo saturo (per calcolo Cres)	Sr	0.04	0.04	g/g	✔
Distanza punto di conformità in falda	POC	100	100	m	✔
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	✔

Parametri del sito - Outdoor

Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Outdoor					
Velocità del vento	Uair	2.25	2.50	m/s	✔
Portata di particolato per unità di superficie	Pe	6.9e-14	6.9e-14	g/cm/s ²	✔
Distanza recettore off site - ADF	POC ADF	100	30	m	✔
Classe di Stabilità Atmosferica			Urbano - Classe D		
Coefficiente di dispersione trasversale	σ_y	Calcolato	4.77	m	✔
Coefficiente di dispersione verticale	σ_z	Calcolato	4.18	m	✔
Profondità della zona aerobica da p.c.	La Outdoor	1	1	m	✔

Parametri del sito - Indoor

Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Indoor					
Profondità delle fondazioni da p.c.	Z crack	0.15	0.15	m	✓
Spessore delle fondazioni	L crack	0.15	0.15	m	✓
Frazione areale di fratture indoor	η	0.01	0.01	m	✓
Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione	Lb	3	3	m	✓
Contenuto volumetrico di acqua nelle fondazioni	$\theta_{w,crack}$	0.12	0.12	-	✓
Contenuto volumetrico di aria nelle fondazioni	$\theta_{a,crack}$	0.26	0.26	-	✓
Tasso di ricambio di aria indoor	ER	0.00023	0.00023	1/s	✓
Differenza di pressione tra outdoor e indoor	Δp	0	0	g/cm/s ²	no check
Superficie totale coinvolta nell'infiltrazione	Ab	70	70	m ²	✓
Permeabilità del suolo al flusso di vapore*	Kv	1e-12	1e-12	m ²	✓
Perimetro delle fondazioni/muri	x crack	34	34	m	✓
Viscosità del vapore	μ_{air}	0.000181	0.000181	g/cm/s	✓
Flusso convettivo entrante nell'edificio	Qs	Calcolato	0.00e+0	L/min	✓
Profondità della zona aerobica dalle fondazioni	La Indoor	1	1	m	✓

Contaminanti selezionati - Parametri chimico-fisici (File DB caricato: Default Database (ISS-INAIL, 2018))

Contaminante	Vol	Sol	H	Kd	Kd(pH)	Koc	Koc(pH)	Dair	Dw	ρ
-	-	mg/L	-	L/kg	L/kg	L/kg	L/kg	cm ² /s	cm ² /s	kg/L
PCB Totali	SVOC	0.7	0.017			78100				
Aromatici C >12-16	SVOC	9.3	0.097			6310				

Contaminanti selezionati - Parametri tossicologici (File DB caricato: Default Database (ISS-INAIL, 2018))

Contaminante	ADAFc	ADAFa	SFing	SFinal	IUR	RfDing	RfDinal	RfC	ABS
	-	-	(mg/kg/d)-1	(mg/kg/d)-1	(µg/m³)-1	(mg/kg/d)	(mg/kg/d)	(µg/m³)	-
PCB Totali			2		0.00057				0.14
Aromatici C >12-16						0.04		0.2	0.1

Contaminanti selezionati - CSC (File DB caricato: Default Database (ISS-INAIL, 2018))

Contaminante	CSC Suoli Residenziali	CSC Suoli Industriali	CSC Falda
	mg/kg	mg/kg	mg/L
PCB Totali	0.06	5	0.00001
Aromatici C >12-16	50	750	0.35

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	-	-	-
PCB Totali	3.08e-1		3.08e-1	1.00e+3	-	-	-	2.49e+0
Aromatici C >12-16	6.32e+2		6.32e+2	1.07e+3	1.07e+3	-	-	1.81e+0
Cumulato Outdoor (On-site)						-	-	
Cumulato Indoor (On-site)						-	-	
Cumulato ingestione di acqua (On-site)						-	-	
Cumulato Outdoor (Off-site)						-	-	
Cumulato ingestione di acqua (Off-site)						-	-	