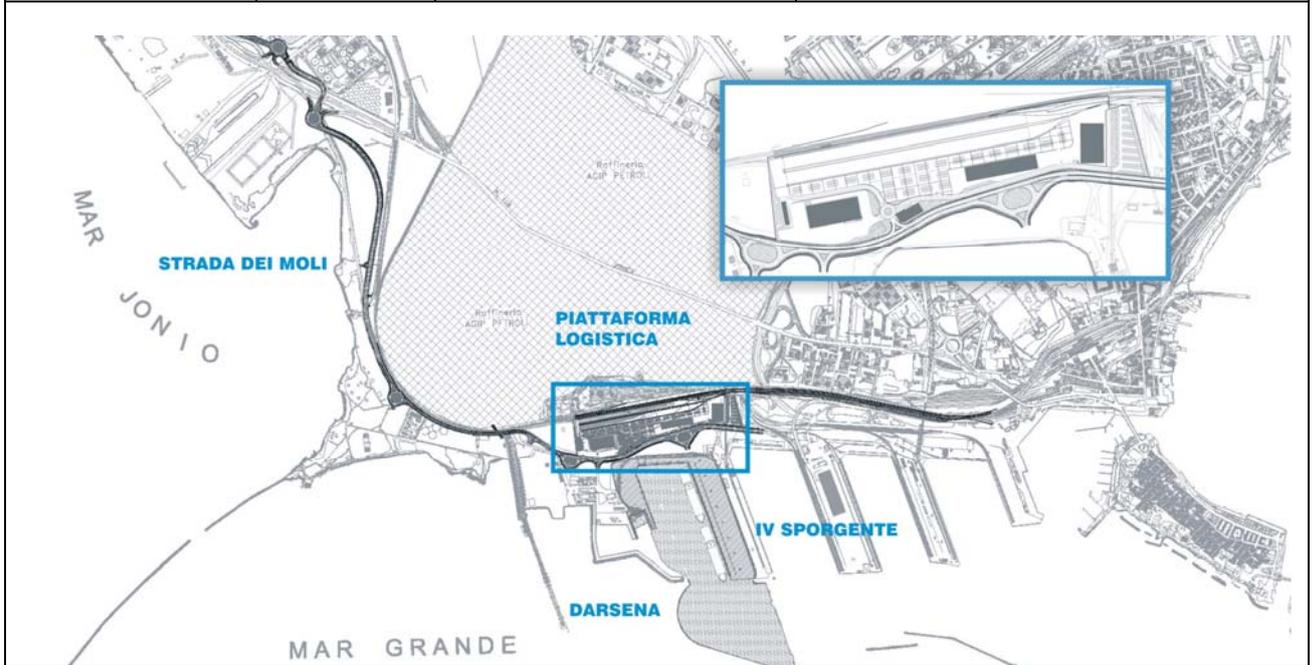




<b>Titolo</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Area Piattaforma Logistica Relazione di sintesi dei risultati di caratterizzazione ambientale ed analisi di rischio			<b>Documento no.</b> 123.700 E1 ODR A002	<b>Rev</b> 01	<b>Pag.</b> 1	<b>di</b> 55
			 <b>Autorità Portuale di Taranto</b>			
<b>Tipo doc.</b> GEN	<b>Emesso da</b> DTL	<b>Commessa no.</b> 123-700	<b>Progetto: Piastra Portuale di Taranto</b> <b>Legge obiettivo delibera CIPE 74/03</b> <b>Responsabile del procedimento: Ing. D. Daraio</b>			



<b>Progettazione</b> 	<b>Consulenza</b>  <b>STUDIO GEOTECNICO ITALIANO srl</b> ingegneria geotecnica - ingegneria sismica - ingegneria ambientale geologia applicata
---	--

I	P	SGI	N. Nosari	D. Spoglianti	G. Geddo	01	Prima emissione	29.09.06
St.	Sc.	Redatto	Controllato	Controllato	Approvato	Rev.	Tipo di revisione	Data

**SOCIETA' DI PROGETTO:**  
**TARANTO LOGISTICA S.p.A.**



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	2	55

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE .....</b>	<b>7</b>
3.1	PREMESSA.....	7
3.2	ATTIVITÀ EFFETTUATE NELL'AMBITO DEL PIANO DI INVESTIGAZIONE INIZIALE DEL PIANO DELLA CARATTERIZZAZIONE.....	7
3.2.1	<i>Sintesi delle indagini eseguite.....</i>	7
3.2.2	<i>Campioni di terreno prelevati dai sondaggi.....</i>	8
3.2.3	<i>Campioni di terreno prelevati dal cumulo est.....</i>	11
3.2.4	<i>Campioni di ballast ferroviario .....</i>	11
3.2.5	<i>Campioni di acque sotterranee.....</i>	11
3.2.6	<i>Misure piezometriche.....</i>	11
3.3	INDAGINE E PROVE GEOTECNICHE.....	12
<b>4</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA.....</b>	<b>14</b>
4.1	CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE DELL'AREA .....	14
4.2	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DELLE FORMAZIONI.....	14
4.2.1	<i>Argille .....</i>	15
4.2.2	<i>Ripporto e sabbia limosa .....</i>	16
4.3	PIEZOMETRIA.....	16
<b>5</b>	<b>ANALISI DEI LIVELLI DI CONTAMINAZIONE .....</b>	<b>17</b>
5.1	PREMESSA.....	17
5.2	CARATTERIZZAZIONE DELLE ACQUE DI MARE.....	18
5.3	SINTESI DELLO STATO DI CONTAMINAZIONE RICONTRATO IN SITO .....	19
5.4	IPOTESI DI MODELLO CONCETTUALE .....	21
<b>6</b>	<b>ANALISI ASSOLUTA DI RISCHIO.....</b>	<b>23</b>
6.1	PREMESSA.....	23
6.2	MODELLO CONCETTUALE .....	25
6.2.1	<i>Sorgenti di contaminazione.....</i>	25
6.2.1.1	<i>Geometria delle sorgenti di contaminazione.....</i>	27
6.2.1.2	<i>Selezione dei contaminanti indicatori.....</i>	30
6.2.1.3	<i>Concentrazioni rappresentative delle sorgenti .....</i>	32
6.2.1.4	<i>Proprietà chimico-fisiche e tossicologiche dei contaminanti.....</i>	34
6.2.2	<i>Vie di migrazione .....</i>	34
6.2.2.1	<i>Definizione delle vie di migrazione per le singole aree sorgente .....</i>	34
6.2.2.2	<i>Stima dei fattori di trasporto .....</i>	36
6.2.2.3	<i>Volatilizzazione dei contaminanti e limite di saturazione .....</i>	41
6.2.2.4	<i>Direzione e velocità del vento .....</i>	42
6.2.2.5	<i>Sintesi dei parametri caratteristici della aree sorgenti utilizzati per l'implementazione dell'analisi di rischio .....</i>	43
6.2.3	<i>Fattori di esposizione.....</i>	44
6.2.3.1	<i>Vie di esposizione e bersagli .....</i>	44
6.2.3.2	<i>Esposizione e fattori di esposizione.....</i>	44
6.3	CALCOLO DEL RISCHIO .....	46
6.3.1	<i>Impostazione del calcolo del rischio.....</i>	46



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	3	55

6.3.2	Area sorgente S1 .....	47
6.3.3	Area sorgente S2 .....	48
6.3.4	Area sorgente S3 .....	51
6.3.5	Area sorgente A1 .....	51
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>53</b>
<b>8</b>	<b>RIFERIMENTI NORMATIVI E DOCUMENTI CITATI NEL TESTO .....</b>	<b>55</b>

#### FIGURE

Figura 1 Sintesi della caratterizzazione del cumulo di terreno ai fini dello smaltimento/recupero

Figura 2 Opere in progetto per la realizzazione della piattaforma logistica intermodale

#### TAVOLE:

E1 ODR A101	Planimetria di inquadramento dell'area e ubicazione dei punti di indagine
E1 ODR A102	Piattaforma Logistica - Sintesi dei risultati di caratterizzazione ambientale (D. Lgs. 152/06)
E1 ODR A103	Sezioni Litostratigrafiche
E1 ODR A104	Analisi di rischio: individuazione delle aree sorgenti

#### ALLEGATI:

Allegato 1	<u>Stratigrafie</u>
Allegato 2	<u>Documentazione fotografica</u>
Allegato 3	<u>Prove geotecniche</u>
Allegato 4	<u>Misure piezometriche</u>
Allegato 5	<u>Certificati analitici</u>
Allegato 6	<u>Calcolo del rischio per l'area sorgente S1</u>
Allegato 7	<u>Calcolo del rischio per l'area sorgente S2</u>
Allegato 8	<u>Calcolo del rischio per l'area sorgente S3</u>
Allegato 9	<u>Calcolo del rischio per l'area sorgente A1</u>

#### TABELLE INTERNE AL TESTO

Tabella 3.1: sintesi delle indagini di caratterizzazione eseguite .....	11
Tabella 3.2: elenco dei campioni sui quali è stato determinato il coefficiente di permeabilità .....	12
Tabella 3.3: profondità della tasca per l'esecuzione di prove Lefranc .....	13
Tabella 4.1: determinazioni di Kv effettuate in laboratorio .....	15
Tabella 4.2: risultati delle prove Lefranc .....	16



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	4	55

Tabella 5.1: Risultati analitici di un campione di acqua marina prelevato nella zona prospiciente il sito	18
Tabella 5.2: Estratto della rivista: Water Condition & purification, Gannaio 2005, concentrazioni espresse in mg/l.....	18
Tabella 5.3: superamenti dei limiti dell' All. 3 del DM 5/2/98 per l'eluato dei campioni estratti dal cumulo di terreno .....	21
Tabella 6.1: Superamenti delle CSC individuati nei campioni di terreno prelevati .....	23
Tabella 6.2: Superamenti delle CSC individuati nei campioni di acqua prelevati .....	24
Tabella 6.3: parametri necessari per la definizione della geometria delle sorgenti .....	27
Tabella 6.4: Geometria della sorgente di contaminazione S1 .....	28
Tabella 6.5: Geometria della sorgente di contaminazione S2 .....	29
Tabella 6.6: Geometria della sorgente di contaminazione S3 .....	29
Tabella 6.7: Geometria della sorgente di contaminazione A1 .....	30
Tabella 6.8: Contaminanti indice relativi alle sorgenti di contaminazione individuate nel suolo .....	32
Tabella 6.9: Contaminanti indice relativi alle sorgenti di contaminazione individuate nelle acque sotterranee .....	32
Tabella 6.10: Concentrazioni rappresentative delle sorgenti individuate .....	34
Tabella 6.11: Vie di esposizione relative ad ogni area sorgente individuata .....	36
Tabella 6.12: Sintesi dei parametri caratteristici delle aree sorgente .....	44
Tabella 6.13: Sintesi degli indici utilizzati .....	46



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	5	55

## 1 PREMESSA

Nel presente documento sono descritti i risultati ottenuti dalle attività di caratterizzazione ambientale svolte presso il sito denominato Piattaforma Logistica, situato in corrispondenza del IV sporgente del porto di Taranto. Le attività di indagine si sono svolte secondo quanto previsto nel Piano della Caratterizzazione (Doc. [5]) e recependo le modifiche ed integrazioni indicate nel Verbale di approvazione del documento dalla Conferenza dei Servizi decisoria del 15/09/05 (Doc.[6]). Viene allegata alla presente relazione una copia su supporto informatico dei certificati delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati nella campagna di indagine.

Secondo quanto prescritto dalla Normativa (Doc.[1]) *“sulla base delle risultanze della caratterizzazione, al sito è stata applicata la procedura di analisi di rischio sito specifica”* (art. 242, c.4) con la finalità di determinare gli obiettivi delle successive fasi di bonifica. Il documento si compone quindi delle seguenti parti:

- sintesi delle attività di caratterizzazione svolte;
- analisi dei livelli di contaminazione;
- analisi assoluta di rischio.



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	6	55

## 2 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

Il documento è stato redatto in accordo con quanto prescritto dalla parte quarta del Decreto Legislativo 3 Aprile 2006, n. 152 “Norme in materia ambientale” (Doc. [1]).



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	7	55

### 3 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE

#### 3.1 Premessa

Nel presente capitolo è sintetizzata l'attività d'indagine eseguita sull'area in oggetto, in applicazione a quanto specificato nel piano d'investigazione iniziale definito nel Piano di Caratterizzazione (cfr. Doc. [5]).

Le attività di campo e di laboratorio sono state condotte secondo le specifiche d'indagine contenute nel suddetto Piano, integrate con le prescrizioni del verbale di approvazione della Conferenza dei Servizi (Doc.[6]).

#### 3.2 Attività effettuate nell'ambito del piano di investigazione iniziale del piano della caratterizzazione

Le attività di caratterizzazione sono state effettuate nel periodo maggio – agosto 2006. L'impresa incaricata per l'esecuzione dei sondaggi e il prelievo dei campioni è stata Sondedile S.r.l., mentre le analisi chimiche sono state effettuate dal laboratorio CHELAB. Le attività di indagine sono state supervisionate da Studio Geotecnico Italiano S.r.l.

##### 3.2.1 Sintesi delle indagini eseguite

Le indagini geonostiche e le attività di campionamento sono consistite in:

- esecuzione di 36 sondaggi geonostici a carotaggio continuo superficiali (profondità comprese tra 5m e 8m);
- esecuzione di 13 sondaggi geonostici a carotaggio continuo profondi (profondità comprese tra 8m e 20m), di cui 7 attrezzati a piezometro;
- prelievo dai sondaggi di 131 campioni di terreno sia superficiale che profondo
- prelievo di 7 campioni di acqua di falda;
- prelievo di 10 campioni dal cumulo lato est;
- prelievo di 2 campioni di ballast ferroviario;
- prelievo di un campione di acque marine

L'ubicazione delle indagini eseguite è riportata in E1 ODR A101. I sondaggi sono stati realizzati, in ottemperanza a quanto prescritto nei Documenti [5] e [6], seguendo una maglia di 50x50m.

È da sottolineare che il numero di campioni prelevato da ciascun sondaggio è funzione della stratigrafia rilevata al momento dell'indagine, delle evidenze organolettiche e della necessità di ricavare da ciascun campione una quantità di terreno sufficiente a predisporre tre aliquote per le analisi chimiche di laboratorio.

Inoltre è da evidenziare che i campioni contrassegnati dalla sigla L1 rappresentano, per ogni sondaggio, il campione di top soil richiesto, e che la quota di testa del campione non sempre coincide con quella di piano campagna per la

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
<b>Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica</b>	<b>123.700 E1 ODR A002</b>	01	8	55

presenza di ballast ferroviario, coperture (ad es. calcestruzzo) o, in generale, di terreni con scarsa o nulla frazione fine, necessaria per la costituzione dei campioni.

### 3.2.2 Campioni di terreno prelevati dai sondaggi

L'elenco dei sondaggi eseguiti, dei campioni raccolti e le relative profondità sono riportati nella seguente tabella.

<b>Sondaggio</b>	<b>Profondità sondaggio (m)</b>	<b>Sigla campione</b>	<b>Sommità del campione (m da p.c.)</b>	<b>Base del campione (m da p.c.)</b>
S1_pl	5	L1*	2,5	3,5
		L2	3,5	4,2
S2_pl	5	L1*	1,7	2,7
		L2	3,5	4,5
S3_pl	6,4	L1*	0,2	1,2
		L2	2,4	3,4
		L3	5,1	6,1
S4_pl	7	L1*	0,2	1,2
		L2	2	3
		L3	5,6	6,6
SGA1	10	L1*	0	1
		L2	2,2	3,2
		L3	3,5	4,5
SGA2	10,05	L1*	0	1
		L2	1	2,2
		L3	3	4,3
SGA3	10,05	L1*	0	1
		L2	2	3
		L3	3	4
SGA4	10	L1*	0	1
		L2	3,5	4,5
		L3	6,5	7,5
SP1	20	L1*	0,4	1,4
		L2	2,3	3,3
SP2	6,8	L1*	0,3	1,3
		L2	2	3
		L3	4,4	5,4
SP3	5	L1*	0,3	1,3
		L2	2,7	3,7
SP4	20	L1*	0,5	1,5
		L2	1,5	2,5
		L3	5	6
		L1*	0	1
		L2	1,5	2,5



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	9	55

Sondaggio	Profondità sondaggio (m)	Sigla campione	Sommità del campione (m da p.c.)	Base del campione (m da p.c.)
SP6	20	L3	9,8	10,8
		L1*	0,5	1,5
		L2	4,6	5,6
SP7	9	L1*	0	1
		L2	4	5
		L3	6,4	7,4
SPE1	5	L1*	1	1,5
		L2	1,5	2
		L3	2,5	3,2
SPE10	5	L1*	0	1
		L2	1,5	2,5
		L3	3,1	4,1
SPE11	6,6	L1*	0,4	1,4
		L2	1,7	2,5
		L3	4,5	5,6
SPE12	5	L1*	0,5	1,5
		L2	1,5	2,5
		L3	2,5	3,2
SPE13	8	L1*	0,2	1,2
		L2	1,7	2,7
		L3	5	6
SPE14	5	L1*	0	1
		L2	1,5	2,5
		L3	3,2	4,4
SPE15	5	L1*	0,2	1,2
		L2	3,4	4,4
SPE16	10	L1*	0,5	1,5
		L2	4	5
		L3	8,3	9,3
SPE17	8	L1*	0,3	1,3
		L2	4	5
		L3	7	8
SPE18	7,5	L1*	0,4	1,4
		L2	2,6	3,6
		L3	5,8	6,8
SPE19	8	L1*	0,5	1,5
		L2	5	6
		L3	6,4	7,4
SPE2	5	L1*	0,2	1,2
		L2	2,3	1,3
		L3	3,4	4,4
SPE20	8	L1*	0,2	1,2
		L2	4,5	5,5
		L3	7	8



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	10	55

Sondaggio	Profondità sondaggio (m)	Sigla campione	Sommità del campione (m da p.c.)	Base del campione (m da p.c.)
SPE21	6	L1*	0,5	1,5
		L2	3	4
		L3	4	5
SPE22	5	L1*	0,5	1,5
		L2	3,4	4,4
SPE23	8	L1*	0,5	1,5
		L2	6,3	7,3
SPE24	7	L1*	0	1
		L2	4,9	5,9
SPE25	8	L1*	0,5	1,5
		L2	5,5	6,5
SPE26	6,8	L1*	0,3	1,3
		L2	3,9	5,3
SPE27	9	L1*	0,5	1,5
		L2	5	6
		L3	7,7	8,7
SPE28	5	L1*	0	1
		L2	1,3	2,4
SPE29	5	L1*	0	1
		L2	1	2
SPE3	5,3	L1*	0,2	1,2
		L2	3,7	4,7
SPE30	10	L1*	0	1
		L2	3,6	4,6
		L3	7,4	8,4
SPE31	6	L1*	2	0,5
		L2	2,5	3,5
		L3	4,6	5,6
SPE32	8	L1*	0,3	1,3
		L2	1,7	2,7
		L3	3	4
SPE33	8,8	L1*	0	1
		L2	1,5	2,5
		L3	2,5	3,5
SPE34	4	L1*	0,2	1,2
		L2	3	4
SPE4	5	L1*	0,75	1,5
		L2	2	3
		L3	3,2	4,2
SPE5	5	L1*	0,5	1,5
		L2	1,5	2,5
		L3	2,5	3,2
SPE6	5	L1*	0,6	1,5
		L2	2,1	3

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	11	55

Sondaggio	Profondità sondaggio (m)	Sigla campione	Sommità del campione (m da p.c.)	Base del campione (m da p.c.)
		L3	3,4	4,4
SPE7	5	L1*	0,5	1,5
		L2	2	3
		L3	3,7	4,7
SPE8	7	L1*	0,5	1,5
		L2	2,7	3,7
		L3	5,4	6,2
SPE9	5	L1*	1,3	0,7
		L2	2,3	3,3

\*: campione di top soil

*Tabella 3.1: sintesi delle indagini di caratterizzazione eseguite*

I campioni prelevati sono stati successivamente sottoposti alle analisi chimiche di cui al par. 5.3.

### 3.2.3 Campioni di terreno prelevati dal cumulo est

Dal cumulo lato est sono stati prelevati 10 campioni denominati L1-L10. I campioni prelevati sono stati successivamente sottoposti alle analisi chimiche di cui al par. 5.1.

### 3.2.4 Campioni di ballast ferroviario

In corrispondenza dei punti SP4 e SGA3 (cfr. tav. E1 ODR A101) sono stati prelevati 2 campioni di ballast ferroviario. I campioni prelevati sono stati successivamente sottoposti alle analisi chimiche di cui al par. 5.1.

### 3.2.5 Campioni di acque sotterranee

Durante il periodo di esecuzione delle indagini è stata effettuata una campagna di campionamento delle acque di falda relativa a tutti i piezometri realizzati nell'area in esame (SP1-7). Tali campioni sono poi stati sottoposti alle analisi chimiche di cui al par. 5.1.

### 3.2.6 Misure piezometriche

Nell'ambito delle attività di caratterizzazione sono state effettuate 10 serie di misure piezometriche nel periodo maggio – giugno 2006. In Allegato 4 sono riportati i valori di soggiacenza misurati.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	12	55

### 3.3 Indagine e prove geotecniche

Con la finalità di caratterizzare da un punto di vista geotecnico l'area della piattaforma logistica oggetto di studio, sono state eseguite ulteriori indagini e prove di laboratorio. Tali dati sono stati utilizzati per integrare le informazioni ottenute per mezzo delle attività di caratterizzazione ambientale ed ottenere un modello fisico il più possibile dettagliato dell'area oggetto di studio.

In tavola E1 ODR A101 sono indicate le ubicazioni dei sondaggi eseguiti per la caratterizzazione geotecnica dell'area. In Allegato 3 sono raccolti i certificati relativi alle prove geotecniche di laboratorio e di campo eseguite. Sono stati calcolati valori per il coefficiente di permeabilità delle argille sia in modo diretto, che in modo indiretto (a partire dai risultati delle prove edometriche) sui seguenti campioni.

Sondaggio	Campione	Profondità di prelievo (m da p.c.)
SGA1	A	5 - 5,5
SGA2	A	6 - 6,5
SGA3	B	6,5 - 7
SP101	A	6 - 6,5
SP102	C	11,05 - 11,6
SP103	B	6,4 - 6,8
SP104	B	7 - 7,6
SP105	B	7,6 - 8
SP105	D	14,5 - 15,05
SP106	B	11,5 - 12
SP107	B	9,5 - 10
SP108	A	8,5 - 8,9
SS103	B	7,5 - 7,95
SS105	B	7,5 - 7,85
SS106	B	9 - 9,45
SS109	A	3 - 3,5

Tabella 3.2: elenco dei campioni sui quali è stato determinato il coefficiente di permeabilità

Le prove di laboratorio geotecnico sono state eseguite dal laboratorio SINECO S.p.a.

Sono state inoltre effettuate due prove Lefranc a carico variabile nei sondaggi SPE27 e SPE30 per determinare i valori di permeabilità delle litologie costituenti l'acquifero alle seguenti profondità:



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	13	55

Sondaggio	Profondità della tasca di prova (m da p.c.)
SPE27	6 - 7
SPE30	6 - 6,5

Tabella 3.3: profondità della tasca per l'esecuzione di prove Lefranc



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	14	55

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA

### 4.1 Caratteristiche litostratigrafiche dell'area

L'area della futura piattaforma logistica si trova attualmente a quote comprese tra 2.77m s.l.m. e 5.76m s.l.m., rilevate in corrispondenza dei punti di esecuzione dei sondaggi. La zona si presenta pianeggiante.

La stratigrafia si presenta variabile, tuttavia è possibile individuare quattro litologie-tipo descritte di seguito:

- a) **Riporto:** questo strato non è sempre del tutto distinguibile nelle descrizioni stratigrafiche. Esso è composto da terreni di diversa natura, quali ghiaie, sabbie, limi e argille, che si alternano sia verticalmente, che sub-orizzontalmente. In alcuni sondaggi si sono inoltre osservati riporti di natura antropica. Lo spessore si può definire variabile da 0.3m a 5m circa.
- b) **sabbia limosa - limo sabbioso:** al di sotto del riporto e fino ad una profondità da piano campagna variabile da 2.5m a 9.30m circa, è presente un strato naturale di sabbia limosa o di limo sabbioso. Lo spessore di questo strato varia da 1m a 7.0m circa. Le descrizioni stratigrafiche lo definiscono poco addensato e non è rara la presenza di argilla.
- c) **“Argilla alterata”:** al di sotto dello strato b) si osserva uno strato di limo argilloso di spessore variabile tra 2.0 e 4.5m circa. Dalle sezioni stratigrafiche (cfr. Tavola E1 ODR A103) , si osserva la tendenza all'innalzamento del tetto di questo strato in direzione S-N, passando da 9.0m a 3.3m circa di profondità da p.c.. Si tratta di un'argilla plastica, consistente, di colore giallastro che precede l'argilla di Taranto di seguito descritta e di cui costituisce uno stato di alterazione.
- d) **“Argilla di Taranto”:** il tetto di questa formazione inizia da una profondità variabile tra 4.5 m e 11.0m circa e lo strato si estende fino alle massime profondità indagate (20m da p.c.). Il materiale è costituito da argilla limosa plastica da consistente a molto consistente, di colore grigio azzurro tendente al verdastro con la profondità.

### 4.2 Caratteristiche idrogeologiche delle formazioni

Dal punto di vista idrogeologico è possibile delineare un modello che prevede un acquifero freatico costituito dalle litologie a e b, di cui al precedente paragrafo, delimitato alla base dalle argille di Taranto (litologie c e d), caratterizzate da permeabilità molto modesta.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	15	55

#### 4.2.1 Argille

I dati a disposizione per la stima del coefficiente di permeabilità derivano da misure indirette di  $k_v$ , ossia dall'interpretazione della curva di consolidazione in termini del coefficiente di compressione volumetrica  $c_v$  (misura indiretta) delle prove edometriche.

Dalle prove di laboratorio effettuate sulle argille (litologie c e d) sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Sondaggio	Campione	Profondità di prelievo (m da p.c.)	$K_v$ (m/s)
SGA1	A	5 - 5,5	5,46E-11
SGA2	A	6 - 6,5	5,58E-11
SGA3	B	6,5 - 7	3,31E-11
SP101	A	6 - 6,5	2,36E-10
SP102	C	11,05 - 11,6	4,20E-11
SP103	B	6,4 - 6,8	4,72E-10
SP104	B	7 - 7,6	4,64E-11
SP105	B	7,6 - 8	1,06E-10
SP105	D	14,5 - 15,05	1,32E-10
SP106	B	11,5 - 12	2,35E-10
SP107	B	9,5 - 10	8,93E-11
SP108	A	8,5 - 8,9	5,68E-10
SS103	B	7,5 - 7,95	6,82E-11
SS105	B	7,5 - 7,85	8,32E-11
SS106	B	9 - 9,45	5,35E-11
SS109	A	3 - 3,5	1,10E-10

Tabella 4.1: determinazioni di  $K_v$  effettuate in laboratorio

Si può quindi assumere che le argille siano caratterizzate dai seguenti valori medi di permeabilità verticale e orizzontale:

$$k_v = 3.3 \times 10^{-11} \text{ m/s} - 5.7 \times 10^{-10} \text{ m/s}$$

$$k_h = 1 \times 10^{-10} \text{ m/s} - 1.7 \times 10^{-9} \text{ m/s}^1$$

<sup>1</sup> In accordo a Lollino (2000) (cfr. Documento [7]), il rapporto  $K_h/K_v$  è valutabile pari a 3 per campioni di argille di Taranto.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	16	55

#### 4.2.2 Riporto e sabbia limosa

Le prove Lefranc (cfr. Allegato 3) effettuate all'interno degli strati più permeabili (litologie a e b) hanno fornito i seguenti risultati:

Sondaggio	Kh (m/s)
SPE27	2.87E-5
SPE30	4.29E-5

Tabella 4.2: risultati delle prove Lefranc

Si può quindi assumere che le litologie siano caratterizzate dai seguenti valori medi di permeabilità verticale e orizzontale:

$$K_h = 2.9 \times 10^{-5} \div 4.29 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$K_v = 5.8 \times 10^{-6} \div 8.6 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$$

### 4.3 Piezometria

L'installazione di nove piezometri (due dei quali in corrispondenza dei due sondaggi geotecnici SP101PZ ed SP108PZ) ha permesso di misurare il livello della falda, di tipo freatico, nell'area del sito (cfr. Allegato 4).

La quota di falda è stata monitorata durante il periodo di esecuzione delle indagini, da Maggio a Giugno, e varia mediamente nell'intervallo 0.00 ÷ +1.57m s.l.m.. Rispetto a tali valori fa eccezione la misura effettuata nel piezometro SP7 (pari a -3.52m s.l.m.) che risulta anomala e di cui non si è tenuto conto.

In corrispondenza dell'area della piattaforma logistica la falda ha una direzione Nord-Ovest → Sud-Est ed è caratterizzata da un gradiente medio pari a circa 1-2%. A sud la falda è in diretto contatto con il mare, causa dei valori mediamente elevati di composti inorganici quali solfati e boro, nei campioni di acqua prelevati.

<sup>2</sup> E' stato ipotizzato un rapporto  $K_h/K_v$  pari a 5



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	17	55

## 5 ANALISI DEI LIVELLI DI CONTAMINAZIONE

### 5.1 Premessa

Il capitolo presenta una sintesi dei risultati della caratterizzazione ambientale effettuata confrontando i risultati analitici ottenuti in laboratorio con i valori delle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) proposte dalla Normativa (Doc [1]).

I parametri chimici che sono stati analizzati sono quelli proposti nel Piano di Caratterizzazione (Doc.[5]), integrati secondo quanto prescritto nel verbale di approvazione della Conferenza dei Servizi (Doc [6]).

I parametri misurati sono i seguenti:

#### Terreni e acque di falda

- Metalli;
- IPA;
- PCB e Diossine;
- Cianuri;
- idrocarburi C<12 e C>12;
- BTEX;
- composti organo-clorurati cancerogeni e non;
- solfati e cloruri (nelle acque sotterranee);
- parametri chimico fisici.

Su un'aliquota (cfr. Documento [5]) dei campioni prelevati sono stati ricercati Amianto ed MTBE.

#### Cumulo di materiale ad est del sito

Con la finalità di definire la destinazione del materiale costituente il cumulo ad est del sito, sono stati prelevati dieci campioni rappresentativi e sono stati sottoposti a quanto previsto dal DM 3/8/05 (Doc. [3]) per definire la tipologia di rifiuto e dal D.M. 5/2/98 (Doc. [4]) per valutarne la possibilità di riutilizzo.

#### Ballast ferroviario

E' stata ricercata la presenza di amianto (con diffrattometria a raggi X) nel ballast ferroviario prelevato in due punti dell'area della piattaforma logistica (punti di sondaggio B1 e B2 in Tavola E1 ODR A101).

#### Acqua di mare

Dalle acque marine antistanti il sito è stato prelevato un campione per il quale sono stati determinati conducibilità elettrica, potenziale di ossido-riduzione, pH, solfati e cloruri.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	18	55

## 5.2 Caratterizzazione delle acque di mare

E' stato prelevato un campione di acqua marina in prossimità del sito oggetto di studio per valutarne le caratteristiche chimiche. I risultati di tali analisi sono sintetizzati nella seguente tabella:

Conducibilità elettrica 20 °c	74100	microS/cm
Potenziale redox	258	mV
Ph	8,24	
Solfati	3340	mg/l
Cloruri	21700	mg/l

Tabella 5.1: Risultati analitici di un campione di acqua marina prelevato nella zona prospiciente il sito

Inoltre, da bibliografia, per un'acqua marina, si possono assumere i valori di concentrazione riportati nella seguente tabella.

Componente	Tipica acqua di mare	Mediterraneo orientale
Cloro (Cl <sup>-</sup> )	18980	21200
Sodio (Na <sup>+</sup> )	10556	11800
Zolfo (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	2649	2950
Magnesio (Mg <sup>++</sup> )	1262	1403
Calcio (Ca <sup>++</sup> )	400	423
Potassio (K <sup>+</sup> )	380	463
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	140	-
Stronzio (Sr <sup>++</sup> )	13	-
Bromo (Br <sup>-</sup> )	65	155
Boro (come BO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	26	72
Fluoro (F <sup>-</sup> )	1	-
Silicio (come SiO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	1	-
Iodio (I <sup>-</sup> )	<1	2
Altri	-	-
Totale solidi disciolti (TDS)	34483	38600

Tabella 5.2: Estratto della rivista: Water Condition & purification, Gennaio 2005, concentrazioni espresse in mg/l

In generale il diffuso superamento per i parametri inorganici delle acque sotterranee può essere associato all'ambiente marino-costiero, in cui il sito è collocato.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	19	55

### 5.3 Sintesi dello stato di contaminazione riscontrato in sito

I risultati ottenuti dalle attività di caratterizzazione sono sintetizzati in Tavola E1 ODR A102, dove, per ogni punto di indagine, sono indicati i valori di concentrazione che superano le concentrazioni soglia di contaminazione CSC per acque di falda e terreni.

Per quanto riguarda i campioni di **terreno**, sono da evidenziare superamenti delle CSC soprattutto per metalli e idrocarburi. In un solo campione superficiale (prelevato nel sondaggio SP7) è stata ottenuta una concentrazione di PCB di poco superiore alla soglia. I superamenti riguardano quasi sempre il campione intermedio tra quello superficiale e quello profondo.

Anche nelle **acque sotterranee** sono stati rilevati superamenti delle CSC per metalli e idrocarburi. In un solo campione (prelevato nel piezometro SP7) è stata misurata una concentrazione di PCB oltre il valore soglia. Altri superamenti dei valori soglia che appaiono correlabili alla vicinanza con il mare riguardano parametri inorganici quali boro e solfati.

In generale si può affermare che le entità dei superamenti dei valori soglia sono modeste.

Segue un elenco dettagliato dei campioni dove si sono riscontrati superamenti delle concentrazioni soglia di contaminazione.

#### • Terreni

Nel campione L2 (prelevato tra 1.3m e 2.3m) del sondaggio **SPE2** sono stati riscontrati superamenti delle CSC per antimonio (128.06mg/kg; CSC=30mg/kg) e stagno (448.96mg/kg; CSC=350mg/kg).

Nei campioni L1 (z=0.7m-1.3m) di **SPE9** e L2 (z=1m-2.2m) di **SGA2** sono stati misurati modesti superamenti dei valori soglia per il solo rame (SPE9 C=706.32 mg/kg ed SGA2 C=698,03 mg/kg su CSC=600mg/kg).

Nei campioni L3 (z=3.2m-4.4m) di **SPE14** e L2 (z=1.5m-2.5m) di **SP5** sono stati misurati superamenti dei valori soglia solo per gli idrocarburi C>12 (SPE14 C=2000 mg/kg ed SP5 C=1290 mg/kg su CSC=750mg/kg).

I campioni prelevati nei sondaggi **SPE18** (z=2.6m-3.6m) e **SP6** (z=4.6m-5.6m) hanno mostrato superamenti dei valori soglia per il solo antimonio, per cui si sono ottenute concentrazioni rispettivamente pari a 74.3mg/kg e 82.95mg/kg su una CSC pari a 30mg/kg.

Antimonio ed idrocarburi C>12 e C<12 sono stati trovati in concentrazioni superiori alle CSC in **SPE26** (z=3.9m-5.3m). Per tali analiti sono state misurate concentrazioni di 69.24mg/kg su 30mg/kg per l'antimonio, 1002.1mg/kg su 750mg/kg per gli idrocarburi C>12 e 382.62mg/kg su 250mg/kg per gli idrocarburi C<12.

Le analisi effettuate sui campioni L1 (z=0.1m-1.3m) ed L2 (z=1.7m-2.7m) prelevati nel sondaggio **SPE32** hanno evidenziato superamenti per antimonio ( $C_{L1}=57.13\text{mg/kg}$ ;  $C_{L2}=71.71\text{mg/kg}$  su CSC=30mg/kg), rame ( $C_{L1}=2779.2\text{mg/kg}$ ;  $C_{L2}=1471.59\text{mg/kg}$  su CSC=600mg/kg), piombo ( $C_{L1}=2007.2\text{mg/kg}$  su 1000mg/kg) e stagno ( $C_{L1}=501.8\text{mg/kg}$  su 350mg/kg).



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	20	55

Nel campione superficiale ( $z=0\text{m}-1\text{m}$ ) del sondaggio SP7 è stata riscontrata la presenza di PCB in concentrazione di 21.76mg/kg su 5mg/kg.

- **Acque sotterranee**

Nel campione di acqua di falda prelevato nel piezometro **SP1** non sono stati rilevati superamenti delle CSC. Nel piezometro **SP2** si è rilevato un superamento dei valori soglia per l'arsenico (27 $\mu\text{g/l}$  su 10 $\mu\text{g/l}$ ).

Nel piezometro **SP3**, oltre al superamento delle CSC per l'arsenico (31 $\mu\text{g/l}$  su 10 $\mu\text{g/l}$ ), si sono evidenziati superamenti anche per ferro (1900 $\mu\text{g/l}$  su 200 $\mu\text{g/l}$ ) e manganese (320 $\mu\text{g/l}$  su 50 $\mu\text{g/l}$ ).

Nel piezometro **SP4** si sono rilevati blandi superamenti delle CSC per arsenico (12.1 $\mu\text{g/l}$  su 10 $\mu\text{g/l}$ ) e piombo (17 $\mu\text{g/l}$  su 10 $\mu\text{g/l}$ ). Per quanto riguarda i parametri solfati e boro il campione di acqua prelevato mostra i caratteri tipici di un'acqua salmastra; sono state misurate le seguenti concentrazioni: solfati 1400mg/l (CSC=250mg/l), boro 2300 $\mu\text{g/l}$  (CSC=1000 $\mu\text{g/l}$ ). Si è inoltre evidenziato il superamento delle CSC per i nitriti (2600 $\mu\text{g/l}$  su 500 $\mu\text{g/l}$ ).

Nel piezometro **SP5** le analisi hanno evidenziato un superamento della CSC per il piombo (10,6 $\mu\text{g/l}$  su 10 $\mu\text{g/l}$ ) e per i solfati (370mg/l su 250mg/l).

Nel piezometro **SP6** sono stati rilevati superamenti di modesta entità delle CSC per arsenico (13,7 $\mu\text{g/l}$  su 10 $\mu\text{g/l}$ ), antimonio (7 $\mu\text{g/l}$  su 5 $\mu\text{g/l}$ ) e solfati (410mg/l su 250 $\mu\text{g/l}$ ).

Nel piezometro **SP7**, infine, le analisi di laboratorio hanno evidenziato superamenti delle CSC per PCB (0.05 $\mu\text{g/l}$  su 0.01 $\mu\text{g/l}$ ), solfati (1200mg/l su 250mg/l) e boro (2500 $\mu\text{g/l}$  su 1000 $\mu\text{g/l}$ ).

- **Cumulo lato est**

Ai fini di valutare la possibilità di smaltimento e/o di riutilizzo dei materiali che costituiscono il cumulo presente nella parte Est del sito in oggetto (cfr. Figura 1) sono stati costituiti 10 campioni a partire da prelievi effettuati nell'ammasso, rappresentativi di altrettante porzioni del cumulo.

Questi campioni sono stati sottoposti alle determinazioni analitiche richieste ai sensi dei Documenti [3] e [4] ed è risultato che tutti i campioni sono classificabili come "Rifiuto speciale non pericoloso" e che quasi tutti (7 su 10), sottoposti a test di cessione secondo quanto previsto dall'Allegato 3 del DM 5/2/98 per l'ammissibilità alle procedure semplificate di recupero, risultano conformi.

Solo per i campioni L6, L7 ed L10 nell'eluato si sono evidenziati modesti superamenti, come sintetizzato nella seguente tabella.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	21	55

Punto di prelievo	Analita	Concentrazione	Limite legislativo
L6	Solfati	640 mg/l	250 mg/l
L7	COD	40 mg/l	31 mg/l
L10	COD	75 mg/l	30 mg/l

Tabella 5.3: superamenti dei limiti dell'All. 3 del DM 5/2/98 per l'eluato dei campioni estratti dal cumulo di terreno

- **Presenza di Amianto**

L'indagine analitica (diffrazione a raggi X) effettuata sul ballast e sui campioni di top soil per determinare la presenza di amianto ha dato sempre esito negativo.

#### 5.4 Ipotesi di modello concettuale

Alla luce degli esiti delle analisi effettuate, sono stati individuati dei superamenti delle CSC per i metalli e, in misura inferiore, per gli idrocarburi nel suolo, e di inorganici e metalli nelle acque di falda. Tali contaminanti mantengono tuttavia tenori molto bassi assumendo valori non superiori ad un ordine di grandezza rispetto alle CSC. Non è sempre possibile stabilire una corrispondenza tra i traccianti individuati nelle acque sotterranee e quelli presenti nel suolo. Per esempio, l'arsenico, rilevato in concentrazioni superiori alla CSC in 4 dei 7 piezometri campionati, non è mai stato individuato in nessun campione di terreno; inoltre le concentrazioni misurate nei piezometri posti a monte della piattaforma logistica sono del medesimo ordine di grandezza di quelle misurate nei piezometri posti lungo la linea di valle. Questo significa che all'interno del sito non si verifica nessun incremento delle concentrazioni, ad ulteriore conferma del fatto che all'interno della piattaforma non sono presenti sorgenti attive.

Allo stesso modo, il piombo, individuato nei piezometri SP4 e SP5, è presente in concentrazioni superiori alla CSC solamente in un campione di terreno superficiale (SPE32), la cui ubicazione non è peraltro compatibile con la formazione di un plume che interessi i due piezometri citati.

L'eccezione più evidente è invece legata ai PCB, che nei terreni sono localizzati esclusivamente nel piezometro SP7 (nel solo campione superficiale), dove è stato riscontrato anche un superamento della CSC riferita alle acque sotterranee.

A valle di tutto ciò, si evince quindi che in generale l'origine della contaminazione possa essere attribuita in parte alle attività svolte in sito in passato, ed in parte alle attività industriali tuttora operative nella zona a monte dell'area oggetto di indagine. Per esempio i metalli e gli idrocarburi sono associabili alle attività di manutenzione, carico e trasporto di materie prime tramite carri ferroviari, svolte in passato sul sito. È il caso dello stagno, la cui presenza oltre i limiti di legge è stata riscontrata laddove erano situate le officine di "stagnino e aggiustatori", ad oggi dismesse.



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
<b>Piastra Portuale di Taranto</b> <b>Piattaforma Logistica</b>	123.700 E1 ODR A002	01	22	55

Per i metalli, non si può però trascurare il contributo delle ricadute di particolato atmosferico emesso dalle industrie pesanti presenti a monte. È tipicamente il caso del piombo, la cui presenza nelle acque di falda conferma l'esistenza di una sorgente attiva a monte del sito.

Per quanto riguarda le acque sotterranee, è da osservare che i contaminanti inorganici rinvenuti, e specificatamente solfati e boro, possono essere associati al fenomeno di intrusione del cuneo salino all'interno della falda e dunque al particolare ambiente in cui il sito è collocato.

Ferro e manganese, rinvenuti oltre le CSC solo nelle acque del piezometro SP3, possono essere associati ad attività di tipo biodegradativo in ambiente riducente piuttosto che ad una contaminazione proveniente dai terreni.

Alla luce di queste osservazioni, è stato adottato un modello concettuale che vede come sorgente il suolo (sia superficiale che profondo) e la falda. Esso prevede come via di esposizione ai contaminanti presenti nei terreni l'inalazione, il contatto dermico e l'ingestione a seguito della percolazione e della diluizione in falda, e come bersaglio, data l'ubicazione del sito e le attività che si prevede verranno svolte, i lavoratori presenti nell'area.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	23	55

## 6 ANALISI ASSOLUTA DI RISCHIO

### 6.1 Premessa

I risultati delle analisi chimiche effettuate in fase di caratterizzazione del sito sono stati confrontati con le concentrazioni soglia di contaminazione riportate in Allegato 5 al titolo V del D. Lgs. 152/06. Nella tabella seguente sono riassunte le concentrazioni non conformi alle CSC individuate nei terreni nel corso delle indagini preliminari.

Sondaggio	Campione	Quota [m da p.c.]	Parametro	C [mg/kg]	CSC [mg/kg]
SP7	L1	0÷1	PCB	21.76	5
SPE18	L2	2.6÷3.6	Antimonio	74.3	30
SP6	L2	4.6÷5.6	Antimonio	82.95	30
SPE26	L2	3.9÷5.3	Antimonio	69.24	30
			Idrocarburi C>12	1002.1	750
			Idrocarburi C<12	382.62	250
SPE14	L3	3.2÷4.4	Idrocarburi C>12	2000	750
SP5	L2	1.5÷2.5	Idrocarburi C>12	1290	750
SPE9	L1	0.7÷1.3	Rame	706.32	600
SPE32	L1	0.3÷1.3	Antimonio	57.13	30
			Piombo	2007.2	1000
			Rame	2779.2	600
	L2	1.7÷2.7	Stagno	501.8	350
			Antimonio	71.71	30
			Rame	1471.59	600
SGA2	L2	1÷2.2	Rame	698.03	600
SPE2	L2	2.3÷3.3	Antimonio	128.06	30
			Stagno	448.96	350

Tabella 6.1: Superamenti delle CSC individuati nei campioni di terreno prelevati

I superamenti delle CSC relativi alle acque sotterranee sono invece riassunti nella tabella seguente.

Piezometro	Fenestratura	Parametro	C [µg/l]	CSC [µg/l]
SP7	2÷8 m da p.c.	PCB	0.05	0.01
		Solfati	1200000	250000
		Boro	2500	1000
SP6	3.7÷5.7 m da p.c.	Arsenico	13.7	10
		Antimonio	7	5
		Solfati	410000	250000
SP5	5÷11 m da p.c.	Piombo	10.6	10

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	24	55

Piezometro	Fenestratura	Parametro	C [ $\mu\text{g/l}$ ]	CSC [ $\mu\text{g/l}$ ]
		Solfati	370000	250000
SP4	4÷6 m da p.c.	Arsenico	12.1	10
		Piombo	17	10
		Nitriti	2600	500
		Boro	2300	1000
		Solfati	1400000	250000
SP3	2.7÷3.7 m da p.c.	Arsenico	31	10
		Ferro	1900	200
		Manganese	320	50
SP2	2.4÷5.4 m da p.c.	Arsenico	27	10

Tabella 6.2: Superamenti delle CSC individuati nei campioni di acqua prelevati

Poiché si sono verificati dei superamenti, il sito è potenzialmente contaminato e ad esso è stata applicata una procedura di analisi di rischio sanitario in modalità diretta al fine di valutare gli effetti sulla salute umana derivanti dall'esposizione prolungata agli effetti delle sostanze presenti nelle matrici ambientali contaminate. Alla luce dei risultati di tale analisi, è infatti possibile stabilire se il sito è contaminato e prevedere quindi i necessari interventi di bonifica o messa in sicurezza permanente.

Occorre precisare che il superamento delle CSC individuato in corrispondenza del sondaggio SP7 rappresenta un hot spot; la concentrazione di PCB misurata in tutti i restanti campioni di terreno prelevati nel corso della campagna di caratterizzazione è sempre ampiamente inferiore alle CSC.

Ai fini dell'analisi di rischio, tale contaminazione non è stata presa in considerazione; si tratta infatti di un hot spot che interessa una porzione limitata di area, e come tale sarà oggetto di un intervento di messa in sicurezza di emergenza, per il quale non è richiesta l'applicazione di una procedura di analisi del rischio.

Lo studio è articolato e condotto in accordo con quanto previsto nella revisione 1 del manuale "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati", pubblicato dall'APAT nel luglio 2006 (Documento [8]).

L'analisi di rischio è stata sviluppata facendo riferimento alla configurazione attuale del sito. Una volta ultimata la procedura di bonifica, l'area sarà infatti interamente pavimentata ed allestita a servizio delle attività logistiche portuali. In Figura 2 sono rappresentate le opere in progetto per la realizzazione della piattaforma logistica intermodale, che sarà composta da:

- aree deposito containers;
- banchine di carico/scarico;
- magazzini (tra cui un magazzino frigorifero);
- edifici (palazzine uffici, ...);

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
<b>Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica</b>	123.700 E1 ODR A002	01	25	55

- aree adibite a parcheggi e depositi auto.

A seguito della realizzazione delle opere di progetto, alcune delle vie di esposizione attualmente attive saranno annullate ed il rischio ad esse legato sarà ugualmente eliminato.

La configurazione attuale rappresenta perciò il caso peggiore e la sua adozione per l'implementazione delle analisi rappresenta quindi un'ipotesi cautelativa.

In considerazione della vocazione esclusivamente industriale e commerciale dell'area, il rischio è stato valutato adottando come bersagli esclusivamente degli operatori, escludendo quindi la presenza di bambini o adulti residenti in sito o presenti in aree ad uso ricreativo.

Non tutti i contaminanti individuati nei terreni sono stati ugualmente riscontrati nelle acque sotterranee e viceversa; questo fa ritenere che si sia in presenza di sorgenti di contaminazione differenti per le due matrici. Per questo motivo, le analisi di rischio sono state implementate separatamente per le due sorgenti secondarie interessate.

Per il calcolo del rischio connesso agli scenari considerati è stato utilizzato il software RISC 4.0.

## 6.2 Modello concettuale

Il modello concettuale del sito è stato elaborato alla luce dei risultati delle indagini e delle analisi di caratterizzazione descritte nei capitoli 0 e 5. La sua definizione implica l'individuazione delle sorgenti di contaminazione, delle vie di migrazione e dei bersagli oggetto della contaminazione stessa.

### 6.2.1 Sorgenti di contaminazione

La contaminazione dei terreni non interessa l'intera area indagata ma alcune porzioni facilmente delimitabili, che si differenziano tra loro anche per la tipologia di inquinante presente. Per questo motivo, conformemente a quanto indicato nelle Linee Guida, è stata valutata l'opportunità di individuare aree più ristrette, maggiormente omogenee al loro interno.

Le Linee Guida (cfr. par. 3.1.1.b) prevedono infatti la possibilità di suddividere in subaree un sito di grandi dimensioni qualora sussista almeno una delle condizioni seguenti:

- evidente disomogeneità delle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche all'interno dell'area perimetrata;
- netta differenziazione di tipologia ed origine della contaminazione;
- evidenti differenze nell'utilizzo dell'area perimetrata, nelle modalità di esposizione e/o nella tipologia dei ricettori esposti.

Per quanto attiene all'utilizzo del sito, si presentano sostanzialmente tre differenti tipologie di aree (cfr. Tavola E1 ODR A101):

- un'area ad ovest del nastro trasportatore Ilva, attualmente non adibita a nessuna funzione operativa specifica;



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	26	55

- un'area occupata dai binari;
- un'area edificata con palazzina uffici, capannoni utilizzati per la manutenzione e depositi.

All'interno delle aree così individuate è possibile riconoscere delle distribuzioni differenti dei contaminanti, ed in particolare:

- area ad ovest del nastro trasportatore Ilva: in questa parte di piattaforma sono stati osservati superamenti della CSC per antimonio (nei sondaggi SPE26, SP6 e SPE18) e idrocarburi pesanti e leggeri (in SPE26, SPE14, SP5). La contaminazione interessa esclusivamente lo strato di terreno insaturo profondo.
- Area binari: rispetto alla precedente area, le concentrazioni di idrocarburi misurate sono conformi alle CSC. La contaminazione è da attribuire esclusivamente alla presenza di metalli nei sondaggi SPE9, SPE32, SGA2, ed in particolare antimonio, piombo, rame e stagno e riguarda il terreno superficiale (nel solo sondaggio SPE32) ed il terreno profondo.
- Un caso a sé è rappresentato dal sondaggio SPE2, dove è stata riscontrata la presenza di antimonio e stagno in concentrazioni superiori alle CSC nello strato di terreno profondo. In questa zona, a differenza di quelle precedentemente individuate, è presente una pavimentazione, che modifica i percorsi espositivi possibili.

Per quanto riguarda la falda, come già premesso, non è sempre possibile trovare una rispondenza tra i contaminanti individuati nel suolo e nelle acque sotterranee. Particolarmente significativo è il caso dell'arsenico, che è stato individuato in quattro dei sette piezometri realizzati e campionati, mentre le concentrazioni misurate nel terreno sono risultate tutte conformi alla CSC per suoli ad uso commerciale e industriale.

Alla luce di queste considerazioni, sono ipotizzate 4 aree sorgenti di contaminazione, ciascuna identificata con un numero progressivo (S1, S2, S3 per il suolo e A1 per le acque sotterranee), schematizzate nella Tavola E1 ODR A104.

La sorgente di contaminazione rappresenta il volume di suolo o sottosuolo interessato dalla presenza di contaminanti in concentrazione superiore alle concentrazioni soglia di contaminazione formulate nel D. LGS. 152/06 in funzione della destinazione d'uso del sito. Ai fini dell'applicazione della procedura di analisi di rischio, tale volume viene schematizzato come un parallelepipedo.

La geometria di ciascuna sorgente è stata individuata, in accordo con quanto indicato nelle Linee Guida, facendo riferimento alla maglia di sondaggi effettuati in fase di caratterizzazione, e considerando le maglie di sondaggi più esterne contenenti almeno un punto di campionamento con concentrazione di almeno un contaminante superiore ai valori di riferimento indicati dalla normativa vigente.

La geometria delle aree sorgenti individuate è stata pertanto facendo riferimento ai parametri seguenti:

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	27	55

Simbolo	Parametro
W	Estensione della sorgente in direzione parallela alla direzione del flusso di falda
Sw	Estensione della sorgente in direzione perpendicolare alla direzione del flusso di falda
W'	Estensione della sorgente in direzione parallela alla direzione prevalente del vento
SW'	Estensione della sorgente in direzione perpendicolare alla direzione prevalente del vento
LS	Profondità del top della sorgente rispetto al p.c.
Lf	Profondità del fondo della sorgente rispetto al p.c.
dS	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)
d	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)
LF	Soggiacenza della falda rispetto al top della sorgente
A	Area della sorgente rispetto alla direzione del flusso di falda
A'	Area della sorgente rispetto alla direzione prevalente del vento

Tabella 6.3: parametri necessari per la definizione della geometria delle sorgenti

### 6.2.1.1 Geometria delle sorgenti di contaminazione

In tavola E1 ODR A104 sono rappresentate le aree sorgenti nel seguito descritte.

#### Area S1

L'area S1, posizionata ad ovest del nastro trasportatore Ilva, è stata individuata comprendendo tutti i sondaggi nei quali è stata riscontrata contaminazione di metalli ed idrocarburi nello strato di terreno insaturo profondo. Essa ha pianta rettangolare, con i lati coincidenti con la maglia più esterna in cui siano stati individuati dei sondaggi non contaminati e con i limiti dell'area indagata. La planimetria dell'area così definita è riportata in Tavola E1 ODR A104.

I sondaggi presenti nella sorgente così individuata sono SPE18, SP6, SPE25, SPE26, SPE15, SPE14, SPE29, SPE30, SPE21, SP5. Di questi, la concentrazione di antimonio è risultata non conforme alla CSC nei sondaggi SPE18, SP6, SPE26; gli idrocarburi pesanti sono stati riscontrati nei sondaggi SP5, SPE14 e SPE26, mentre per gli idrocarburi leggeri l'unico superamento della CSC è stato individuato nel sondaggio SPE26.

Si può osservare che la contaminazione non è equamente distribuita in tutta l'area sorgente individuata; si è ritenuto però opportuno considerare cautelativamente un'unica area, tenendo conto dell'utilizzo del sito, al fine di evitare la creazione di singole micro-sorgenti.

La geometria della sorgente così definita è riassunta nella tabella seguente.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
<b>Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica</b>	<b>123.700 E1 ODR A002</b>	01	28	55

Parametro	Valore
Estensione della sorgente in direzione parallela alla direzione del flusso di falda	106 m
Estensione della sorgente in direzione perpendicolare alla direzione del flusso di falda	323 m
Estensione della sorgente in direzione parallela alla direzione prevalente del vento	127 m
Estensione della sorgente in direzione perpendicolare alla direzione prevalente del vento	193 m
Profondità del top della sorgente rispetto al p.c.	1.5 m
Profondità del fondo della sorgente rispetto al p.c.	5.3 m
Soggiacenza della falda rispetto al top della sorgente	4.5 m

*Tabella 6.4: Geometria della sorgente di contaminazione S1*

Occorre precisare che il top della sorgente è stato individuando, come indicato nelle Linee Guida (cfr. Par. 3.1.2) scegliendo, tra tutti i campioni contaminati, la profondità minima rispetto al piano campagna, alla quale è stata riscontrata una concentrazione superiore alla CSC. Allo stesso modo per il bottom della sorgente è stato adottato pari alla profondità massima alla quale è stata riscontrata concentrazione di almeno un contaminante superiore ai valori di riferimento indicati nella normativa vigente.

Per quanto riguarda la soggiacenza della falda, è stata invece adottata cautelativamente la soggiacenza minima, misurata nel piezometro SP6.

### Area S2

L'area S2, posizionata in corrispondenza della zona occupata dai binari, è stata separata dalla precedente per tenere conto del diverso utilizzo del sito e della differente distribuzione di contaminazione. L'area è infatti caratterizzata dalla presenza di metalli, ed è stata individuata comprendendo tutti i sondaggi nei quali è stata riscontrata contaminazione da metalli nello strato di terreno insaturo superficiale e profondo. Essa ha pianta rettangolare, con i lati coincidenti con la maglia più esterna in cui siano stati individuati dei sondaggi non contaminati e con i limiti dell'area indagata. La planimetria dell'area così definita è riportata in Tavola E1 ODR A104.

I sondaggi presenti nella sorgente così individuata sono SPE9, SPE10, SGA3, SP3, SPE32, SPE5, SGA2, SP1. Di questi, soltanto il campione superficiale del sondaggio SPE32 è risultato contaminato da antimonio, piombo, rame e stagno. Nel terreno profondo è stata invece riscontrata la presenza di rame nei sondaggi SGA2, SP9 e SPE32; in quest'ultimo anche la concentrazione di antimonio è risultata non conforme alla relativa CSC. Anche in questo caso l'individuazione della sorgente è stata effettuata in modo cautelativo, avendo cura di così la creazione di singole micro-sorgenti.

La geometria dell'area sorgente così definita è riassunta nella tabella seguente. Valgono anche in questo caso le considerazioni riportate relative alla definizione di top e bottom della sorgente, e alla falda.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	29	55

Parametro	Valore
Estensione della sorgente in direzione parallela alla direzione del flusso di falda	48.5 m
Estensione della sorgente in direzione perpendicolare alla direzione del flusso di falda	282 m
Estensione della sorgente in direzione parallela alla direzione prevalente del vento	58 m
Estensione della sorgente in direzione perpendicolare alla direzione prevalente del vento	85 m
Profondità del top della sorgente rispetto al p.c.	0 m
Profondità del fondo della sorgente rispetto al p.c.	2.7 m
Soggiacenza della falda rispetto al top della sorgente	1.9 m

Tabella 6.5: Geometria della sorgente di contaminazione S2

### Area S3

L'area S3, posizionata ad est dell'attuale palazzina uffici, è stata individuata comprendendo tutti i sondaggi nei quali è stata riscontrata contaminazione di antimonio e stagno nello strato di terreno insaturo profondo. Essa ha pianta rettangolare, con i lati coincidenti con la maglia più esterna in cui siano stati individuati dei sondaggi non contaminati e con i limiti dell'area indagata.

Quest'area è stata distinta dalla precedente anzitutto per via del differente utilizzo dell'area: a differenza dell'area sorgente S2, occupata da binari, S3 è pavimentata, e questo cambia le modalità di esposizione cui sono soggetti i bersagli. La planimetria dell'area così definita è riportata in tavola E1 ODR A104.

I sondaggi presenti nella sorgente così individuata sono S1, S4, S18, SPE2; di questi, soltanto l'ultimo è risultato contaminato da antimonio e stagno.

La geometria della sorgente così definita è riassunta nella tabella seguente.

Parametro	Valore
Estensione della sorgente in direzione parallela alla direzione del flusso di falda	51m
Estensione della sorgente in direzione perpendicolare alla direzione del flusso di falda	98 m
Estensione della sorgente in direzione parallela alla direzione prevalente del vento	52 m
Estensione della sorgente in direzione perpendicolare alla direzione prevalente del vento	95 m
Profondità del top della sorgente rispetto al p.c.	2.3 m
Profondità del fondo della sorgente rispetto al p.c.	2.5 m
Soggiacenza della falda rispetto al top della sorgente	0.2 m

Tabella 6.6: Geometria della sorgente di contaminazione S3

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	30	55

### Area A1

Il volume di acquifero interessato dalla presenza di contaminanti in concentrazione superiore ai valori di riferimento indicati dalla normativa vigente è stato definito sulla base delle risultanze analitiche relative alle acque sotterranee campionate nei piezometri realizzati in sito. In particolare, la sorgente è stata individuata pari alla massima estensione del plume di contaminazione in falda determinato a partire dai piezometri installati nei quali è stata riscontrato il superamento delle CSC per almeno un parametro.

Occorre precisare che il piezometro SP7, pur essendo contaminato, non è stato incluso nella sorgente in quanto rappresentativo dell'hot spot di PCB individuato nel campione di terreno superficiale prelevati nell'angolo est della proprietà più che delle reali condizioni della falda.

Come punto di conformità, in assenza di un pozzo ad uso idropotabile, è stato individuato il piezometro SP4.

Nella tabella seguente sono riassunte le caratteristiche della sorgente così individuata.

Parametro	Valore
Estensione della sorgente in direzione parallela alla direzione del flusso di falda	160m
Estensione della sorgente in direzione perpendicolare alla direzione del flusso di falda	425 m
Estensione della sorgente in direzione parallela alla direzione prevalente del vento	167 m
Estensione della sorgente in direzione perpendicolare alla direzione prevalente del vento	446 m

Tabella 6.7: Geometria della sorgente di contaminazione A1

#### 6.2.1.2 Selezione dei contaminanti indicatori

L'analisi di rischio è stata condotta prendendo in considerazione per ciascuna sorgente secondaria di contaminazione i composti che almeno in un punto superano le concentrazioni soglia di contaminazione riportate nell'allegato 5 al titolo V del decreto legislativo 152/99 "Norme in materia ambientale" per le matrici suolo e acque sotterranee.

Nel caso di esposizione per inalazione, sono stati presi in considerazione come contaminanti indice soltanto i composti volatili.

Le Linee Guida prevedono che, nel caso il numero di traccianti riscontrati sia elevato, sia possibile ridurre il numero di specie chimiche da inserire nella procedura di analisi selezionando quelli più importanti cui è associato un rischio maggiore per l'uomo.



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	31	55

Nel caso in esame, il numero di contaminanti presenti non è tale da richiedere una semplificazione, e di conseguenza l'analisi è stata sviluppata prendendo in considerazione tutti i contaminanti individuati in fase di caratterizzazione.

In merito agli idrocarburi, pesanti e leggeri, occorre precisare che, non essendo disponibili indicazioni analitiche relative alla tipologia degli stessi, in particolare in merito alla suddivisione tra aromatici ed alifatici, la valutazione del rischio è stata pertanto effettuata suddividendo la concentrazione rilevata in parti uguali tra le due tipologie di idrocarburi. È possibile verificare che, a parità di concentrazione nel terreno:

- qualora gli idrocarburi realmente presenti appartengano interamente alla classe a cui corrisponde un rischio inferiore, il rischio calcolato sovrastima quello effettivamente presente;
- qualora gli idrocarburi presenti appartengano interamente alla classe a cui corrisponde un rischio maggiore, il rischio calcolato ha lo stesso ordine di grandezza di quello effettivamente presente.

I composti che rispondono ai criteri sopra definiti per la matrice suolo sono riportati nella tabella seguente, distinti per subaree ed in base alla sorgente secondaria considerata.

Area Sorgente	Tipo di esposizione	Suolo superficiale	Suolo profondo
S1	Inalazione di vapori outdoor	/	Antimonio
	Inalazione di vapori indoor		Idrocarburi C>12
	Ingestione di acqua dovuta a lisciviazione in falda		Idrocarburi C<12
S2	Contatto dermico	Antimonio	
	Ingestione di suolo	Rame	
	Inalazione di vapori outdoor	Piombo	
	Inalazione di vapori indoor	Stagno	
	Inalazione di particolato		
	Lisciviazione in falda - ingestione		
S3	Inalazione di vapori outdoor	/	Rame
	Inalazione di vapori indoor		
	Inalazione di particolato		
	Lisciviazione in falda - ingestione		
S3	Inalazione di vapori outdoor	/	Stagno
	Inalazione di vapori indoor		
	Inalazione di particolato		

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	32	55

Tabella 6.8: Contaminanti indice relativi alle sorgenti di contaminazione individuate nel suolo

I contaminanti indice relative alla falda sono invece riassunti nella tabella seguente, nella quale sono elencate anche i piezometri in cui è stato osservato il superamento.

Area Sorgente	Tipo di esposizione	Falda	Piezometri
A1	Ingestione acque Inalazione di vapori outdoor Inalazione di vapori indoor	Arsenico	SP2 SP3 SP4 SP6
		Ferro	SP3
		Manganese	SP3
		Piombo	SP4 SP5
		Nitriti	SP4
		Boro	SP4
		Solfati	SP4 SP5 SP6
Antimonio	SP6		

Tabella 6.9: Contaminanti indice relativi alle sorgenti di contaminazione individuate nelle acque sotterranee

Occorre precisare che nelle analisi di rischio relative alla sorgente falda non sono stati presi in considerazione boro e solfati. La presenza di tali analiti è da legare alla natura del sito, che si trova in riva al mare e come tale risente di ingressioni saline, e possono pertanto essere considerati dei valori di fondo diffusi. Pertanto, in accordo con quanto indicato nelle Linee Guida (cfr. Capitolo 4), non è stato valutato il rischio potenziale per l'uomo.

### 6.2.1.3 Concentrazioni rappresentative delle sorgenti

La definizione delle concentrazioni rappresentative di ciascuna delle sorgenti secondarie considerate è stata effettuata applicando la procedura prevista dalle Linee Guida APAT, secondo le quali, per individuare le concentrazioni rappresentative alla sorgente è necessario suddividere il data-set di valori di concentrazione in funzione di ogni sorgente secondaria di contaminazione (SS suolo superficiale, SP suolo profondo e GW falda) ed esaminare l'ampiezza del data set. Se il numero di sondaggi a disposizione è superiore a 10 è possibile applicare dei criteri statistici alle concentrazioni determinate analiticamente sui campioni di terreno. In caso contrario, non essendo possibile effettuare alcuna stima statistica attendibile e in accordo con il principio di massima conservatività, deve essere adottata una concentrazione rappresentativa alla sorgente coincidente con il valore di concentrazione massimo analiticamente determinato.

Nel caso in esame, per ogni sorgente di contaminazione si verifica il caso che il numero di campioni sia inferiore a 10.

Per quanto riguarda eventuali outlier, si ritiene che i dati forniti siano rappresentativi delle effettive concentrazioni presenti in sito.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	33	55

Nessun dato è stato pertanto rimosso dal database per la determinazione delle concentrazioni rappresentative delle sorgenti.

Le analisi di rischio sono state pertanto implementate adottando delle concentrazioni rappresentative delle sorgenti CSC pari ai massimi valori registrati per ciascun composto nei singoli punti di campionamento.

Nome	Sorgente secondaria	Parametro	Sondaggi	Cmisurate	CRS	U.M.
S1	Suolo profondo	TPH alifatici C5-8	SPE26	191.31	191.31	mg/kg
		TPH aromatici C9-10	SPE26	191.31	191.31	mg/kg
		TPH alifatici C9-18	SPE14	1000	1000	mg/kg
			SPE26 SP5	501 645		
		TPH aromatici C11-22	SPE14 SPE26 SP5	1000 501 645	1000	mg/kg
Antimonio		SPE18	74.3	74.3	mg/kg	
		SPE26	69.24			
		SP6	82.95 (*)			
S2	Suolo superficiale	Antimonio	SPE32	57.13	57.13	mg/kg
		Piombo	SPE32	2007.2	2007.2	mg/kg
		Rame	SPE32	2779.2	2779.2	mg/kg
		Stagno	SPE32	501.8	501.8	mg/kg
	Suolo profondo	Antimonio	SGA2	698.03	1471.59	mg/kg
SPE32	1471.59					
SPE9	706.32					
S3	Suolo profondo	Antimonio	SPE2	128.06	128.06	mg/kg
		Stagno	SPE2	448.96	448.96	mg/kg
A1	Falda	Arsenico	SP2	27	31	µg/l
			SP3	31		
			SP4	12.1		
			SP6	13.7		
		Ferro	SP3	1900	1900	µg/l

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
<b>Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica</b>	<b>123.700 E1 ODR A002</b>	01	34	55

Nome	Sorgente secondaria	Parametro	Sondaggi	Cmisurate	CRS	U.M.
		Manganese	SP3	320	320	µg/l
		Piombo	SP4	17	17	µg/l
			SP5	10.6		
		Nitriti	SP4	2600	2600	µg/l
		Antimonio	SP6	7	7	µg/l

*Tabella 6.10: Concentrazioni rappresentative delle sorgenti individuate*

(\*): questa concentrazione si riferisce ad un campione prelevato in falda e, come tale, non è stato preso in considerazione per la definizione della concentrazione rappresentativa alla sorgente.

#### 6.2.1.4 Proprietà chimico-fisiche e tossicologiche dei contaminanti

Per i composti per i quali il 152/06 fissa dei limiti di concentrazione, l'APAT fornisce un elenco delle proprietà chimico-fisiche e tossicologiche da adottare. Tali valori sono stati recepiti ai fini della presente analisi di rischio.

I parametri eventualmente assenti sono stati integrati con i database IRIS – Integrated Risk Information System e RAIS – Risk Assessment Information System, un database molto esteso realizzato per conto del U.S. Department of Energy (DOE), Office of Environmental Management.

#### 6.2.2 *Vie di migrazione*

##### 6.2.2.1 Definizione delle vie di migrazione per le singole aree sorgente

La presente analisi di rischio ha come obiettivo la valutazione dei rischi connessi all'esposizione diretta o indiretta alle acque sotterranee e al terreno contaminato.

Le vie di migrazione prese in considerazione sono, per le differenti sorgenti, le seguenti:

- **SORGENTE DI CONTAMINAZIONE SUOLO SUPERFICIALE**
  - ingestione di suolo;
  - contatto dermico;
  - inalazione di vapori outdoor;
  - inalazione di vapori indoor;
  - inalazione di particolato;
  - lisciviazione in falda.
- **SORGENTE DI CONTAMINAZIONE SUOLO PROFONDO**
  - inalazione di vapori outdoor;
  - inalazione di vapori indoor;

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
<b>Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica</b>	<b>123.700 E1 ODR A002</b>	01	35	55

- lisciviazione in falda.
- SORGENTE DI CONTAMINAZIONE FALDA
  - inalazione di vapori indoor;
  - inalazione di vapori outdoor;
  - ingestione di acqua.

Il tipo di esposizione presente in corrispondenza di ogni area sorgente individuata è funzione dello stato di copertura dei luoghi, ed in particolare, dove le aree non sono pavimentate l'esposizione è dovuta all'inalazione outdoor (se le aree sono esterne) o indoor (per aree edificate) dei vapori generati dal suolo e dalle acque sotterranee, al contatto dermico e all'ingestione del suolo e all'ingestione di acqua in cui è lisciviato il terreno contaminato per effetto delle precipitazioni e dell'infiltrazione efficace. Dove invece le aree sono pavimentate l'esposizione avviene esclusivamente per inalazione outdoor (per aree esterne) o indoor (per aree edificate).

Il sito in esame è costituito, come visto, in parte da aree pavimentate (zona uffici e depositi, dove è stata individuata la sorgente S3), in parte da aree occupate da binari, con fondo costituito da ballast ferroviario (dove è stata individuata la sorgente S2). Per la restante parte, dove è ubicata l'area sorgente S1, il sito non è pavimentato.

Come già illustrato, l'analisi di rischio è stata cautelativamente implementata facendo riferimento alla configurazione attuale, che delle due è sicuramente la peggiore.

L'unica eccezione è rappresentata dall'area sorgente S1, in corrispondenza della quale, in futuro, verranno realizzate delle palazzine. Per questo caso specifico l'analisi di rischio è stata implementata considerando come vie di esposizione sia l'inalazione outdoor (configurazione attuale) sia l'inalazione indoor (configurazione futura).

Nella tabella seguente sono elencate, per ogni area sorgente individuata, le vie di esposizione prese in considerazione.

Occorre precisare che l'inalazione di vapori indoor e outdoor è stata presa in considerazione esclusivamente per l'area sorgente S1 dove, oltre ai metalli, tipicamente non volatili, sono stati individuati idrocarburi leggeri e pesanti, che invece possono generare un rischio per inalazione, e per la falda. Per le restanti sorgenti tale via di esposizione non verrà infatti attivata in quanto nel terreno sono stati individuati esclusivamente metalli.

Area	Sorgente secondaria	Vie di esposizione
S1	Suolo profondo	Inalazione di vapori outdoor Inalazione di vapori indoor Ingestione di acqua dovuta a lisciviazione in falda
S2	Suolo superficiale Suolo profondo	Contatto dermico Ingestione di suolo Inalazione di vapori outdoor

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	36	55

		Inalazione di vapori indoor Lisciviazione in falda
S3	Suolo profondo	Inalazione di vapori outdoor Inalazione di vapori indoor Lisciviazione in falda
A1	Falda	Ingestione Inalazione di vapori outdoor Inalazione di vapori indoor

Tabella 6.11: Vie di esposizione relative ad ogni area sorgente individuata

Nei seguenti paragrafi sono definiti i fattori di trasporto, in termini di equazioni e di implementazione delle procedure di calcolo, e quindi i parametri caratteristici delle sorgenti che influiscono sulla determinazione dei fattori di trasporto.

### 6.2.2.2 Stima dei fattori di trasporto

Il rischio in corrispondenza di quest'area è legato alle vie di esposizione seguenti:

1. inalazione di vapori outdoor (da suolo superficiale, da suolo profondo, da falda);
2. inalazione di particolato outdoor (da suolo superficiale)
3. inalazione di vapori indoor (da suolo superficiale, da suolo profondo, da falda);
4. inalazione di particolato indoor (da suolo superficiale);
5. contatto dermico;
6. ingestione di suolo;
7. lisciviazione di suolo in falda;
8. ingestione di acqua.

#### 1. Inalazione di vapori outdoor

La concentrazione in aria outdoor per il singolo contaminante è funzione della concentrazione rilevata nel suolo superficiale per mezzo di un fattore di volatilizzazione VF (volatilization factor), il quale dipende dalle proprietà del composto, dalle caratteristiche del mezzo attraversato e dalle condizioni atmosferiche locali.

$$C_{air} = VF \cdot C_{soil}$$

dove:

VF = fattore di volatilizzazione, espressa in kg/m<sup>3</sup>;

C<sub>soil</sub> = è la concentrazione del composto organico nel terreno, espressa in mg/kg.

Il fattore di volatilizzazione VF<sub>ss</sub> in ambienti outdoor da suolo superficiale (kg/m<sup>3</sup>) è il minore tra i due calcolati mediante le equazioni seguenti:

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	37	55

$$VF = \frac{2 \times W \times \rho_b}{U_{air} \times \delta_{air}} \times \sqrt{\frac{D_s^{eff} \times H}{\pi \times \tau \times (\theta_w + K_s \times \rho_s + H \times \theta_a)}} \cdot 10^3 \frac{cm^3 \cdot kg}{m^3 \cdot g}$$

$$VF_{ss} = \frac{W \times \rho_s \times d}{U_{air} \times \delta_{air} \times \tau} \cdot 10^3$$

dove:

- W = lunghezza della sorgente parallela alla direzione prevalente del vento (cm);
- U<sub>air</sub> = velocità del vento al di sopra del suolo e all'interno della zona di miscelazione (cm/s);
- δ<sub>air</sub> = altezza della zona di miscelazione dell'aria (cm);
- ρ<sub>s</sub> = bulk density del suolo (g/cm<sup>3</sup>);
- H = costante di Henry, adimensionale;
- K<sub>s</sub> = coefficiente di partizione suolo-acqua (cm<sup>3</sup>/g);
- τ = tempo medio di durata del flusso (secondi);
- θ<sub>w</sub> = contenuto volumetrico d'acqua nel terreno, adimensionale;
- θ<sub>a</sub> = contenuto volumetrico d'aria nel terreno, adimensionale;
- D<sub>s</sub><sup>eff</sup> = coefficiente di diffusione effettiva attraverso la zona vadosa (cm<sup>2</sup>/s).

Per quanto riguarda invece la volatilizzazione di vapori outdoor da suolo profondo, la formula è la seguente:

$$VF = \frac{H \cdot \rho_b}{(\theta_w + K_s \cdot \rho_s + H \cdot \theta_a) \cdot \left(1 + \frac{U_{air} \cdot \delta_{air} \cdot L_s}{D_s^{eff} \cdot W}\right)} \cdot 10^3 \frac{cm^3 \cdot kg}{m^3 \cdot g}$$

dove:

- L<sub>s</sub> = profondità della sorgente nel sottosuolo (cm).
- W = lunghezza della sorgente parallela alla direzione prevalente del vento (cm);
- U<sub>air</sub> = velocità del vento al di sopra del suolo e all'interno della zona di miscelazione (cm/s);
- δ<sub>air</sub> = altezza della zona di miscelazione dell'aria (cm);
- ρ<sub>s</sub> = bulk density del suolo (g/cm<sup>3</sup>);
- H = costante di Henry, adimensionale;
- K<sub>s</sub> = coefficiente di partizione suolo-acqua (cm<sup>3</sup>/g);
- τ = tempo medio di durata del flusso (secondi);
- θ<sub>w</sub> = contenuto volumetrico d'acqua nel terreno, adimensionale;

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	38	55

$\theta_a$  = contenuto volumetrico d'aria nel terreno, adimensionale;

$D_s^{eff}$  = coefficiente di diffusione effettiva attraverso la zona vadosa ( $cm^2/s$ ).

La concentrazione in aria calcolata secondo le procedure e le equazioni sopra descritte non prende in considerazione la presenza di un'eventuale copertura del terreno. Attualmente l'area sorgente S1 non è coperta, mentre in futuro sarà realizzata una copertura. L'analisi è stata comunque implementata come se non vi fosse nessuna copertura presente.

La stima del fattore di volatilizzazione di vapori da falda in ambienti aperti viene effettuata con la formula seguente:

$$VF_{wamb} = \frac{H}{1 + \frac{U_{air} \times \delta_{air} \times L_{GW}}{D_{ws}^{eff} \times W'}} \times 10^3$$

dove:

$W'$  = lunghezza della sorgente parallela alla direzione di falda (cm);

$U_{air}$  = velocità del vento al di sopra del suolo e all'interno della zona di miscelazione (cm/s);

$\delta_{air}$  = altezza della zona di miscelazione dell'aria (m);

$\rho_s$  = bulk density del suolo ( $g/cm^3$ );

$H$  = costante di Henry, dimensionale;

$L_{GW}$  = dimensioni della sorgente nella direzione di falda (m);

$D_s^{eff}$  = coefficiente di diffusione effettiva attraverso la zona vadosa ( $cm^2/s$ ).

## 2. Inalazione di particolato outdoor

Per stimare l'emissione di particolato outdoor da suolo superficiale PEF Risk utilizza la formula seguente:

$$PEF = \frac{Pe \times W'}{U_{air} \times \delta_{air}} \times 10^3$$

dove:

$W'$  = lunghezza della sorgente parallela alla direzione prevalente del vento (cm);

$U_{air}$  = velocità del vento al di sopra del suolo e all'interno della zona di miscelazione (cm/s);

$\delta_{air}$  = altezza della zona di miscelazione dell'aria (m);

$Pe$  = portata di particolato emessa per unità di superficie ( $g/(cm^2 \cdot s)$ ).

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	39	55

### 3. Inalazione di vapori indoor

Come indicato dalle Linee Guida APAT, la stima del fattore di trasporto da terreno insaturo all'interno di locali chiusi  $VF_{sest}$  è stata effettuata utilizzando il modello di Johnson-Ettinger. Il gradiente di pressione  $\Delta P$  tra ambiente indoor ed ambiente outdoor è stato posto pari a zero, ossia è stato valutato il solo trasporto diffusivo, trascurando l'eventuale trasporto convettivo (positivo o negativo) attraverso le fondazioni.

Il calcolo è stato eseguito applicando direttamente il software RISC 4.0, il quale consente la stima del fattore di volatilizzazione indoor attraverso l'equazione indicata dalle Linee Guida, ossia in particolare:

$$VF_{sest} = \frac{\frac{H \cdot \rho_s}{(\theta_w + k_s \cdot \rho_s + H \cdot \theta_a)} \cdot \frac{D_s^{eff}}{L_T \cdot L_b \cdot ER}}{1 + \frac{D_s^{eff}}{L_T \cdot L_b \cdot ER} + \frac{D_s^{eff} \cdot L_{crack}}{D_{crack}^{eff} \cdot L_T \cdot \eta}} \cdot 10^3 \frac{cm^3 \cdot kg}{m^3 \cdot g}$$

dove:

- H = costante di Henry, adimensionale;
- $\rho_s$  = bulk density del suolo ( $g/cm^3$ );
- $\theta_w$  = contenuto volumetrico d'acqua nel terreno, adimensionale;
- $K_s$  = coefficiente di partizione suolo-acqua ( $cm^3/g$ );
- $L_s$  = profondità della sorgente nel sottosuolo (cm);
- $\theta_a$  = contenuto volumetrico d'aria nel terreno, adimensionale;
- $L_T$  = distanza tra il top della sorgente e la base delle fondazioni (cm);
- $L_b$  = rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (cm);
- $L_{crack}$  = spessore delle fondazioni (cm);
- ER = tasso di ricambio d'aria indoor ( $giorni^{-1}$ );
- $D_s^{eff}$  = coefficiente di diffusione effettiva attraverso la zona vadosa ( $cm^2/s$ );
- $D_{crack}^{eff}$  = coefficiente di diffusione effettiva nelle fenditure della pavimentazione ( $cm^2/s$ ).

L'equazione per la stima del fattore di volatilizzazione da falda è la seguente:

$$VF_{sest} = \frac{H \times \frac{D_s^{eff}}{L_T \times L_b \times ER}}{1 + \frac{D_s^{eff}}{L_T \times L_b \times ER} + \frac{D_s^{eff} \times L_{crack}}{D_{crack}^{eff} \times L_T \times \eta}} \cdot 10^3 \frac{cm^3 \cdot kg}{m^3 \cdot g}$$

dove:

- H = costante di Henry, adimensionale;

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	40	55

$\rho_s$	= bulk density del suolo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );
$\eta$	= frazione areale di fratture, adimensionale;
$K_s$	= coefficiente di partizione suolo-acqua ( $\text{cm}^3/\text{g}$ );
$L_s$	= profondità della sorgente nel sottosuolo (cm);
$L_T$	= distanza tra il top della sorgente e la base delle fondazioni (cm);
$L_b$	= rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (cm);
$L_{\text{crack}}$	= spessore delle fondazioni (cm);
ER	= tasso di ricambio d'aria indoor ( $\text{giorni}^{-1}$ );
$D_s^{\text{eff}}$	= coefficiente di diffusione effettiva attraverso la zona vadosa ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ).
$D_{\text{crack}}^{\text{eff}}$	coefficiente di diffusione effettiva nelle fenditure della pavimentazione ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ).

Al fine di tenere conto della presenza di un'eventuale copertura sul terreno, le Linee Guida APAT suggeriscono di moltiplicare il fattore di volatilizzazione per un fattore moltiplicativo pari alla frazione areale di fratture  $\eta_{\text{out}}$  della superficie pavimentata (cfr. Linee Guida paragrafo 3.3.2). Il valore di  $\eta_{\text{out}}$  può variare da un valore molto basso nel caso di copertura integra a 1 in assenza di copertura.

La determinazione diretta della frazione areale delle fratture non è di regola effettuata. Si fa pertanto riferimento ai dati di letteratura disponibili, che si riferiscono a misurazioni eseguite sulle emissioni di radon dai terreni. Sulla base di tali studi, la frazione areale delle fratture è indicata pari a 0.001 nel caso di pavimentazioni integre e 0.01 in pavimentazioni con evidenti fratture e fessurazioni.

#### 4. Inalazione di particolato indoor

Il fattore di trasporto  $PEF_{\text{in}}$  riferito all'inalazione di particolato in ambienti indoor, viene valutato con la relazione seguente:

$$PEF_{\text{IN}} = PEF \times F \times \frac{Pe \times W'}{U_{\text{air}} \times \delta_{\text{air}}} \times 10^3$$

dove:

$W'$	= lunghezza della sorgente parallela alla direzione prevalente del vento (cm);
$U_{\text{air}}$	= velocità del vento al di sopra del suolo e all'interno della zona di miscelazione (cm/s);
$\delta_{\text{air}}$	= altezza della zona di miscelazione dell'aria (cm);
$F_i$	= frazione di polveri indoor, adimensionale;
$Pe$	= portata di particolato emessa per unità di superficie ( $\text{g}/(\text{cm}^2\text{s})$ ).

In via cautelativa,  $F_i$  viene posto pari ad 1 ed il fattore di trasporto indoor viene assunto coincidente con il fattore di trasporto outdoor.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	41	55

5. Contatto dermico ed ingestione di suolo

Per quanto concerne l'esposizione diretta al terreno, la concentrazione utilizzata nel calcolo del rischio è direttamente la concentrazione determinata a livello del terreno, senza che intervengano fenomeni di trasporto o propagazione.

6. Lisciviazione di suolo contaminato in falda:

Per modellare la lisciviazione del suolo contaminato in falda, in mancanza di test di cessione, la concentrazione lisciviata (leachate) è stata valutata teoricamente a partire dalla concentrazione misurata nel terreno. Ad essa è stato quindi applicato il modello di trasporto per la fase disciolta proposto da RISK.

6.2.2.3 Volatilizzazione dei contaminanti e limite di saturazione

Un importante aspetto nella valutazione delle emissioni di vapore dal terreno, sia nel caso di inalazione outdoor che di inalazione indoor, consiste nel tener conto del limite di saturazione del terreno  $C_{sat}$ , il quale rappresenta la concentrazione di contaminante nel terreno in corrispondenza della quale l'acqua e l'aria nei pori sono sature del composto inquinante e sono raggiunti i limiti d'adsorbimento sulle particelle di terreno. Per concentrazioni superiori al limite di saturazione, il contaminante si presenta in fase libera, e quindi non è applicabile la legge di Henry, né le espressioni sopra riportate per il calcolo dei fattori di volatilizzazione.

La concentrazione di saturazione  $C_{sat}$  è definita dalla seguente relazione:

$$C_{sat} = S \cdot \frac{\theta_w + k_s \cdot \rho_b + H \cdot \theta_a}{\rho_b}$$

dove:

$\rho_b$  = bulk density del suolo ( $g/cm^3$ );

H = costante di Henry, adimensionale;

$K_s$  = coefficiente di partizione suolo-acqua ( $cm^3/g$ );

$\theta_w$  = contenuto volumetrico d'acqua all'interno del terreno, adimensionale;

$\theta_a$  = contenuto volumetrico d'aria all'interno del terreno, adimensionale;

S = solubilità del composto inquinante in acqua (mg/l).

Definite le caratteristiche di suolo e sottosuolo, i fattori di volatilizzazione VF risultano quindi costanti per un dato composto fino alla concentrazione  $C_{sat}$ , e sono calcolabili mediante le espressioni sopra riportate. Per  $C > C_{sat}$ , invece, la concentrazione nell'ambiente outdoor è costante e corrisponde alla concentrazione di equilibrio corrispondente alla presenza di fase libera a livello della sorgente.

$$C_{soil} < C_{sat} \quad C_{air} = VF * C_{soil}$$

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	42	55

$$C_{soil} \geq C_{sat} \quad C_{air} = VF * C_{sat} = cost$$

La variazione della concentrazione in aria è pertanto lineare in funzione della concentrazione nel suolo fino ad un valore massimo in corrispondenza della concentrazione di saturazione, oltre il quale si mantiene costante.

Volendo esprimere il fattore di volatilizzazione in funzione della concentrazione nel suolo, si verifica che VF è costante fino al raggiungimento della concentrazione di saturazione, dopodichè decresce con l'inverso della concentrazione (essendo costante la concentrazione in aria  $C_{air}$ ):

$$VF = \frac{C_{air}}{C_{soil}}$$

Il software RISC 4.0 tiene automaticamente in conto tale aspetto, confrontando la concentrazione in fase disciolta corrispondente alla concentrazione nel suolo determinata per via analitica con la solubilità del composto in acqua. Qualora il valore calcolato sia maggiore della solubilità, ne consegue che nella matrice del terreno è presente fase libera, ossia la concentrazione nel suolo è maggiore della concentrazione di saturazione sopra definita. Il valore utilizzato per il calcolo del rischio è quindi il seguente:

$$C_{soil} < C_{sat} \quad \rightarrow \quad C_{air} = VF * C_{soil}$$

$$C_{soil} \geq C_{sat} \quad \rightarrow \quad C_{air} = VF * C_{sat}$$

#### 6.2.2.4 Direzione e velocità del vento

Poiché l'inhalazione outdoor costituisce una delle vie di esposizione, per definire la geometria delle aree sorgente è necessario identificare la direzione e la velocità del vento. Sulla base di quanto indicato nelle Linee Guida, ai fini del calcolo del rischio sono utilizzati i valori medi annui di tali grandezze calcolati elaborando i dati della centralina meteorologica più prossima al sito in esame e rappresentativa dello stesso.

Nel caso specifico, in mancanza di dati sito specifici, sono state utilizzate le registrazioni medie mensili effettuate presso la centralina di Marina di Ginosa; in accordo a tali dati, il vento ha direzione SSE nel 50% dei casi, S e NNW equamente ripartite nei restanti casi.

La velocità media mensile misurata è di 8.5 nodi, pari a 4.37 m/s. I valori di velocità forniti dalle centraline meteorologiche si riferiscono alla quota di 10 m da p.c.. Al fine di riportare la velocità del vento ad un'altezza pari a 2 m dal p.c. utile per gli scopi dell'analisi di rischio, in corrispondenza della zona di miscelazione, si utilizza la relazione empirica seguente:

$$U_{air}(z_1) = (z_1 / z_2)^p * U_{air}(z_2)$$

dove

$$z_i = \text{altezza } i\text{-esima}$$

$$U_{air}(z_i) = \text{velocità del vento all'altezza } i\text{-esima}$$

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	43	55

$p$  = coefficiente funzione della classe di stabilità atmosferica (nel caso oggetto di studio, classe D,  $P=0.25$ )

La velocità del vento utilizzata per la valutazione del rischio è pertanto pari a 2.924 m/s.

### 6.2.2.5 Sintesi dei parametri caratteristici delle aree sorgenti utilizzati per l'implementazione dell'analisi di rischio

Nella tabella seguente sono riassunti i parametri caratteristici delle aree sorgente utilizzati per il calcolo del rischio. In accordo con quanto previsto dalle Linee Guida, sono stati utilizzati dati sito-specifici ove presenti, mentre, in assenza di informazioni dirette, sono stati utilizzati i valori di default indicati nelle Linee Guida nella Tabella 3.2-7.

Simbolo	Parametro	UdM	Valore	Note
<b>Parametri del terreno (zona insatura)</b>				
	Granulometria	-	Silty Loam	Cautelativamente è stata trascurata la presenza di lenti di materiale a bassa permeabilità riscontrata in alcuni sondaggi realizzati in sito.
$\rho_s$	Densità del suolo	g/cm <sup>3</sup>	1.7	Default
$\vartheta_T$	Porosità totale del terreno in zona insatura	-	0.41	Default
$\vartheta_e$	Porosità effettiva del terreno in zona insatura	-	0.345	Default
$\vartheta_w$	Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura	-	0.194	Default
$\vartheta_T$	Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura	-	0.151	Default
$f_{oc}$	Frazione di carbonio organico nella zona insatura	-	0.005	Default.
<b>Parametri degli ambienti aperti</b>				
$\delta_{air}$	Altezza della zona di miscelazione in aria	m	2	Default
$\tau$	Tempo medio di durata del flusso del vapore	y	25	Default
$P_e$	Portata di particolato per unità di superficie	g/(cm <sup>2</sup> /s)	6.90E-14	Default
$\eta_{out}$	Frazione areale delle fratture della pavimentazione	-	0.001	Default
$v$	Velocità del vento	m/s	2.924	
<b>Parametri degli ambienti indoor</b>				

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	44	55

Simbolo	Parametro	UdM	Valore	Note
$L_{crack}$	Spessore delle fondazioni	cm	15	Default
$\eta$	Frazione areale delle fratture	-	0.001	
ER	Tasso di ricambio di aria indoor	1/d	20	Default per ambienti industriali.
$Z_{crack}$	Profondità delle fondazioni	cm	15	Default
$K_V$	Permeabilità del suolo al flusso del vapore	cm <sup>2</sup>	1*10 <sup>-8</sup>	Default
$\Delta P$	Differenza di pressione tra indoor e outdoor	g*(cmxs <sup>2</sup> )	0	Si trascura il trasporto convettivo
$\mu_{air}$	Viscosità dei vapori	g*(cmxs)	1.81*10 <sup>-4</sup>	Default
$\tau$	Tempo medio di durata del flusso del vapore	y	25	Default
	Porosità delle fondazioni fratturate	-	0.25	Default.
	Contenuto d'acqua delle fratture	-	0	Approccio conservativo: l'intera porosità delle fratture è disponibile per il flusso del vapore.

Tabella 6.12: Sintesi dei parametri caratteristici delle aree sorgente

Per quanto riguarda la geometria dei locali chiusi di progetto (area sorgente s1), non si dispone di dati puntuali salvo l'indicazione che si tratta di locali fuori terra. Il rapporto tra il volume del locale e l'area delle fondazioni è stato posto pari a 3 (valore di default per un'analisi di primo livello).

### 6.2.3 Fattori di esposizione

#### 6.2.3.1 Vie di esposizione e bersagli

La destinazione d'uso del sito è interamente di tipo industriale ed i bersagli considerati sono i lavoratori operanti sul sito.

#### 6.2.3.2 Esposizione e fattori di esposizione

L'esposizione alla contaminazione può essere espressa dalla generica relazione:

$$E = C_{POE} \times EM$$

$$C_{POE} = C_s \times FT$$

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	45	55

dove:

$E$  = esposizione (mg/kgxd);

$C_{POE}$  = concentrazione al punto di esposizione, calcolata in funzione della via di esposizione secondo le relazioni riportate nei paragrafi precedenti (unità di misura in funzione della via di esposizione);

$EM$  = dose giornaliera o portata di esposizione (unità di misura in funzione della via di esposizione);

$FT$  = eventuale fattore di trasporto,  $FT$  coincide con  $VF$  nel caso dell'esposizione per inalazione, è pari a 1 nel caso di esposizione diretta (ingestione e contatto dermico).

La dose giornaliera  $EM$  è a sua volta espressa dalle seguenti relazioni in funzione della via di esposizione:

Contatto dermico con il suolo

$$EM = \left[ \frac{mg}{kg \cdot d} \right] = \frac{SA \times AF \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

Ingestione di suolo

$$EM = \left[ \frac{mg}{kg \cdot d} \right] = \frac{IR \times FI \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

Inalazione di vapori e polveri outdoor

$$EM = \left[ \frac{m^3}{kg \cdot d} \right] = \frac{Bo \times EFg \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

Inalazione di vapori e polveri indoor

$$EM = \left[ \frac{m^3}{kg \cdot d} \right] = \frac{Bi \times EFg \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

Ingestione di acqua

$$EM = \left[ \frac{L}{kg \cdot d} \right] = \frac{IRw \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

Nella tabella seguente sono riportati i valori di default indicati nelle Linee Guida (cfr. tabella 3.4-3) degli indici utilizzati per il calcolo della portata effettiva di esposizione, riferiti ad uno scenario di tipo industriale/commerciale con un bersaglio adulto.

Simbolo	Fattore di esposizione	U.d.M.	Valore
BW	Peso corporeo	kg	70
ATc	Tempo medio di esposizione per le sostanze cancerogene	y	70

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	46	55

Simbolo	Fattore di esposizione	U.d.M.	Valore
ATn	Tempo medio di esposizione per le sostanze non cancerogene	y	25
ED	Durata di esposizione	y	25
EF	Frequenze di esposizione	d/y	250
EFg	Frequenza giornaliera di esposizione	h/d	8
Bo	Inalazione outdoor	m <sup>3</sup> /h	2.5
Bi	Inalazione indoor	m <sup>3</sup> /h	1.5
FI	Frazione di suolo ingerita	-	1
IR	Tasso di ingestione di suolo	mg/d	50
SA	Superficie di pelle esposta	cm <sup>2</sup>	3300
AF	Fattore di aderenza dermica del suolo	mg/cm <sup>2</sup>	1
ABS	Fattore di assorbimento dermico	-	0.1/0.01

Tabella 6.13: Sintesi degli indici utilizzati

## 6.3 Calcolo del rischio

### 6.3.1 Impostazione del calcolo del rischio

Il rischio per la salute umana si differenzia tra individuale e cumulativo. Il primo rappresenta il rischio dovuto ad un singolo contaminante per una o più vie di esposizione, mentre il rischio cumulativo rappresenta il rischio dovuto alla cumulazione degli effetti di più sostanze per una o più vie di esposizione.

Il calcolo del rischio si differenzia poi a seconda degli effetti che la sostanza in oggetto può avere. In particolare, in caso di effetti cancerogeni, il rischio per la salute umana derivante dall'esposizione ad uno o più contaminanti è descritto dalla relazione:

$$R = E \times SF$$

dove:

R = rischio, rappresenta la probabilità di casi incrementali di tumore nel corso della vita, causata dall'esposizione alla sostanza rispetto alle condizioni di vita usuali;

E = assunzione giornaliera del contaminante (mg/kg\*d) mediata su un periodo di 70 anni;

SF = slope factor, indica la probabilità di casi incrementali di tumore nella vita per unità di dose (mg/kgxd<sup>1</sup>).

In caso di effetti tossici non cancerogeni, la formula da utilizzare è la seguente:

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	47	55

$$HQ = \frac{E}{RfD}$$

dove:

HQ = indice di pericolo che indica di quanto l'esposizione alla sostanza superi la dose tollerabile o di riferimento;

E = assunzione giornaliera del contaminante (mg/kgxd) mediata su un periodo di 70 anni;

RfD = rappresenta l'esposizione media giornaliera che non produce effetti avversi apprezzabili sull'organismo umano nel corso della sua vita.

Il rischio cumulato viene valutato sommando il rischio (in caso di effetti cancerogeni) o l'indice di pericolo (per effetti tossici) causati dall'esposizione contemporanea a tutte le sostanze inquinanti presenti per tutte le possibili modalità di esposizione. Il criterio di cumulazione utilizzato è quello proposto dalle Linee Guida, e quindi:

- per il suolo superficiale il rischio viene stimato scegliendo il valore più conservativo tra i rischi derivanti dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti confinati (indoor), in ambienti aperti (outdoor) e dalla lisciviazione del terreno stesso.
- Per il suolo profondo il rischio viene stimato scegliendo il valore più conservativo tra i rischi derivanti dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti confinati (indoor), in ambienti aperti (outdoor) e dalla lisciviazione del terreno.
- Per la falda il rischio viene stimato scegliendo il valore più conservativo tra i rischi derivanti dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti confinati (indoor) in ambienti aperti (outdoor) e per ingestione.

Nei paragrafi seguenti viene valutato il rischio per ciascuna delle aree sorgenti individuate.

### 6.3.2 Area sorgente S1

Nella tabella seguente vengono illustrati i risultati dell'analisi di rischio implementata per l'area sorgente S1 per ogni singolo contaminante analizzato.

#### SUOLO PROFONDO

##### Antimonio

Inalazione outdoor	Inalazione indoor	Lisciviazione in falda
0	0	$1.9 \times 10^{-1}$

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
<b>Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica</b>	123.700 E1 ODR A002	01	48	55

Idrocarburi leggeri C<12

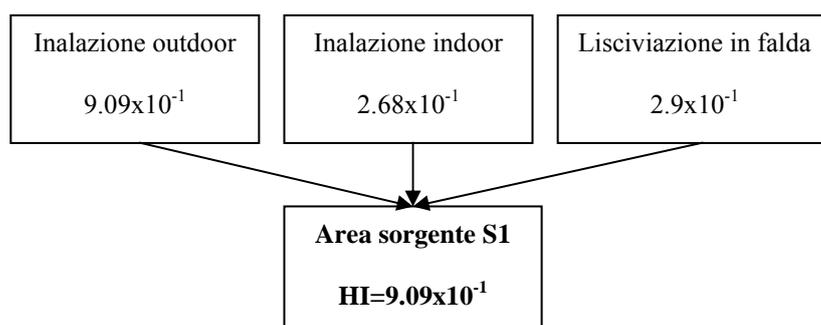
Idroc	Inalazione outdoor	Inalazione indoor	Lisciviazione in falda
	$9.09 \times 10^{-1}$	$2.59 \times 10^{-1}$	$7.3 \times 10^{-6}$
	Inalazione outdoor	Inalazione indoor	Lisciviazione in falda
	$8.6 \times 10^{-3}$	$8.7 \times 10^{-3}$	$3.0 \times 10^{-6}$

Indice di pericolo cumulativo:

Inalazione outdoor:  $9.09 \times 10^{-1}$

Inalazione indoor  $2.68 \times 10^{-1}$

Lisciviazione in falda  $1.9 \times 10^{-1}$



In questo caso la simulazione è stata effettuata utilizzando un valore di leachate teorico calcolato a partire dalla concentrazione misurata nel terreno stesso.

L'indice di pericolo ottenuto è stato confrontato con il valore tollerabile per le sostanze tossico nocive, pari a 1. Dall'analisi effettuata, emerge che l'indice di pericolo calcolato per l'uomo è accettabile per ogni via di esposizione e per ogni contaminante presente (indice di pericolo cumulativo).

In Allegato 6 è riportato il listato completo fornito dal programma RISC 4.0 che riassume i dati utilizzati per l'implementazione dell'analisi ed i risultati ottenuti.

6.3.3 Area sorgente S2

Nelle tabelle seguenti vengono illustrati i risultati dell'analisi di rischio implementata per l'area sorgente S2.

SUOLO SUPERFICIALE

Antimonio

Ingestione di suolo	Contatto dermico	Lisciviazione in falda
$7.0 \times 10^{-2}$	$4.6 \times 10^{-2}$	$2.3 \times 10^{-2}$

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	49	55

Rame

Ingestione di suolo $2.5 \times 10^{-2}$	Contatto dermico $1.6 \times 10^{-2}$	Lisciviazione in falda 0.0
---	--	-------------------------------

Piombo

Ingestione di suolo $3.9 \times 10^{-1}$	Contatto dermico 0.0	Lisciviazione in falda 0.0
---	-------------------------	-------------------------------

Stagno

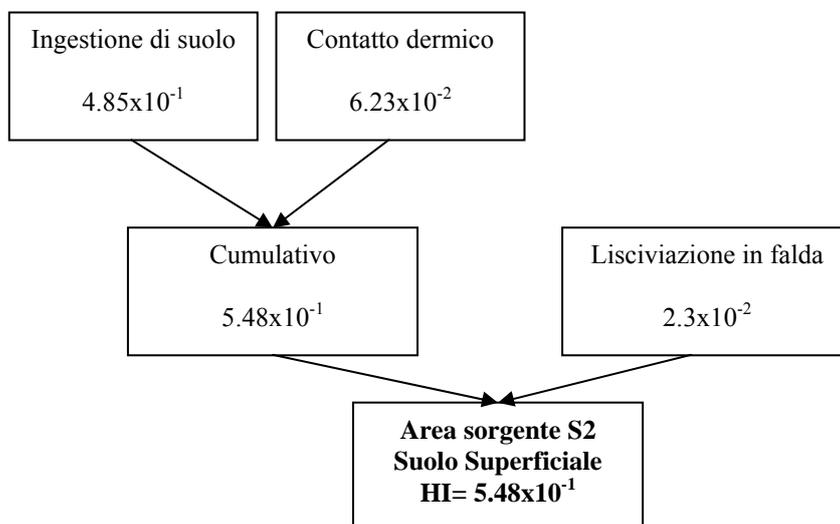
Ingestione di suolo $4.1 \times 10^{-4}$	Contatto dermico $2.7 \times 10^{-4}$	Lisciviazione in falda 0.0
---	--	-------------------------------

Anche in questo caso l'effetto della lisciviazione è stato valutato a partire dalle concentrazioni misurate nel terreno.

Indice di pericolo cumulativo:

Ingestione di suolo:	$4.85 \times 10^{-1}$
Contatto dermico:	$6.23 \times 10^{-2}$
Lisciviazione in falda	$2.3 \times 10^{-2}$

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	50	55



#### SUOLO PROFONDO

##### Antimonio

Lisciviazione in falda
$2.6 \times 10^{-1}$

##### Rame

Lisciviazione in falda
0.0

##### Indice di pericolo cumulativo:

Lisciviazione in falda  $2.6 \times 10^{-1}$

<b>Area sorgente S2 Suolo profondo HI=2.6x10<sup>-1</sup></b>
---

I valori ottenuti sono stati confrontati con il valore di rischio tollerabile per le sostanze tossico nocive, pari a 1. Dall'analisi effettuata, emerge che l'indice di pericolo calcolato per l'uomo è accettabile per ogni via di esposizione e per ogni contaminante presente (indice di pericolo cumulativo).

In Allegato 7 è riportato il listato completo fornito dal programma RISC 4.0 che riassume i dati utilizzati per l'implementazione dell'analisi ed i risultati ottenuti.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	51	55

#### 6.3.4 Area sorgente S3

Nella tabella seguente vengono illustrati i risultati dell'analisi di rischio implementata per l'area sorgente S3 per ogni singolo contaminante analizzato.

##### SUOLO PROFONDO

##### Antimonio

Lisciviazione in falda
$2.6 \times 10^{-2}$

##### Stagno

Lisciviazione in falda
0

##### Indice di pericolo cumulativo:

Lisciviazione in falda  $2.6 \times 10^{-2}$

<b>Area sorgente S3</b>
<b>HI=2.6x10<sup>-2</sup></b>

Il valore ottenuto è stato confrontato con il valore di rischio tollerabile per le sostanze tossico nocive, pari a 1. Dall'analisi effettuata, emerge che l'indice di pericolo calcolato per l'uomo è accettabile per ogni via di esposizione e per ogni contaminante presente (indice di pericolo cumulativo).

In Allegato 8 è riportato il listato completo fornito dal programma RISC 4.0 che riassume i dati utilizzati per l'implementazione dell'analisi ed i risultati ottenuti.

#### 6.3.5 Area sorgente A1

Nella tabella seguente vengono illustrati i risultati dell'analisi di rischio implementata per l'area sorgente A1 per ogni singolo contaminante analizzato. Per ferro, manganese e nitriti l'analisi ha dato un indice di pericolo nullo.

##### ACQUE DI FALDA

##### Arsenico

Ingestione acqua
$R = 1.5 \times 10^{-8}$
$HI = 1.0 \times 10^{-4}$



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	52	55

Antimonio

Ingestione acqua  
HI=  $2.0 \times 10^{-3}$

Piombo

Ingestione acqua  
HI=  $2.8 \times 10^{-6}$

Indice di pericolo cumulativo:

Ingestione acqua  $2.1 \times 10^{-3}$

**Area sorgente A1**  
**R=  $1.5 \times 10^{-8}$**   
**HI=  $2.1 \times 10^{-3}$**

Il valore di rischio ottenuto è stato confrontato con il rischio tollerabile per le sostanze cancerogene, pari a  $10^{-6}$ , e l'indice di pericolo per le sostanze tossiche con 1. Dall'analisi effettuata, emerge che entrambi sono inferiori ai rispettivi valori considerati tollerabili per l'uomo.

In Allegato 9 è riportato il listato completo fornito dal programma RISC 4.0 che riassume i dati utilizzati per l'implementazione dell'analisi ed i risultati ottenuti.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	53	55

## 7 CONCLUSIONI

Al termine delle attività descritte nel presente documento, si formulano le osservazioni conclusive seguenti:

- nel corso delle indagini di caratterizzazione nel terreno sono stati individuati dei superamenti delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione riferite a siti ad uso commerciale e industriale per i metalli e, in misura decisamente minore, per gli idrocarburi pesanti e leggeri e, in un punto, per i PCB.
- In merito ai PCB, alla luce della pericolosità dell'elemento in questione e degli effetti da questo generati localmente anche sulla falda (in SP7 C=0.05µg/l), si ritiene opportuno effettuare un intervento di messa in sicurezza di emergenza mediante rimozione e smaltimento del terreno contaminato. Tale intervento sarà spinto sino al raggiungimento delle concentrazioni soglia di contaminazione riferite a suoli ad uso commerciale e industriale (CSC=5mg/kg).
- Nella falda sono stati riscontrati superamenti delle CSC per i metalli principalmente. A questo proposito si ribadisce, come già sostenuto nel modello concettuale (cfr. par. 5.4), che gli analiti riscontrati nelle acque sotterranee in concentrazioni non conformi ai limiti di legge non sempre trovano una corrispondenza con la contaminazione del terreno. Questo significa che, almeno per alcuni parametri, esiste una fonte di contaminazione della falda attiva all'esterno dell'area indagata, soprattutto per quanto riguarda arsenico (non rinvenuto nei terreni) e piombo (individuato in un campione di suolo superficiale, fatto questo compatibile con fenomeni di ricaduta di particolato atmosferico).
- La presenza di boro e solfati nelle acque di falda trova origine nei fenomeni di intrusione del cuneo salino, proveniente dalla limitrofa acqua di mare.
- Alla luce dei risultati delle indagini effettuate ed in accordo con la normativa vigente, sono state implementate delle analisi di rischio al fine di valutare gli effetti cancerogeni e/o tossici sulla salute umana dei potenziali recettori. Tali analisi sono state eseguite facendo riferimento alla configurazione attuale del sito, ritenuta più penalizzante rispetto agli scenari di sviluppo futuri, e quindi maggiormente cautelativa.
- Le analisi di rischio riferite al terreno hanno dimostrato che le concentrazioni presenti in sito generano un indice di pericolo (si tratta di sostanze non cancerogene) accettabile per tutte le sorgenti di contaminazione individuate. Le CSR sono pertanto superiori alle concentrazioni attuali, e quindi il suolo non è contaminato ai sensi del D. Lgs. 152/06.

A questo proposito occorre comunque precisare che l'intera piattaforma logistica sarà oggetto di un intervento di riallestimento che ne modificherà l'attuale configurazione in modo sostanziale. L'area sarà infatti interamente pavimentata e, di conseguenza, per i bersagli presenti in sito si modificheranno le vie di esposizione sia per il terreno (superficiale e profondo) sia per la falda. La presenza della pavimentazione eliminerà infatti la possibilità di un contatto dermico o dell'ingestione di terreno superficiale contaminato. Inoltre ridurrà in modo sostanziale la volatilizzazione di idrocarburi leggeri e pesanti (i metalli non sono volatili e quindi, non generando flussi di vapori interstiziali, non attivano questa via di esposizione).



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
<b>Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica</b>	123.700 E1 ODR A002	01	54	55

- L'analisi implementata per le acque sotterranee ha evidenziato la presenza di un rischio accettabile per la salute dell'uomo.

Occorre comunque precisare che anche le acque sotterranee beneficeranno della presenza della pavimentazione di progetto. Per effetto di questa "barriera", infatti, anche l'infiltrazione in falda diminuirà in modo consistente, e con essa la lisciviazione del terreno contaminato in falda, con conseguente riduzione del rischio legato all'eventuale ingestione. A questo proposito, occorre comunque sottolineare che il sito è servito dall'acquedotto comunale e non sono presenti pozzi ad uso idropotabile che consentano il prelievo di acqua. Di conseguenza si tratta di una via di esposizione soltanto potenziale ma non attiva, presa cautelativamente in considerazione ai fini dell'analisi di rischio.



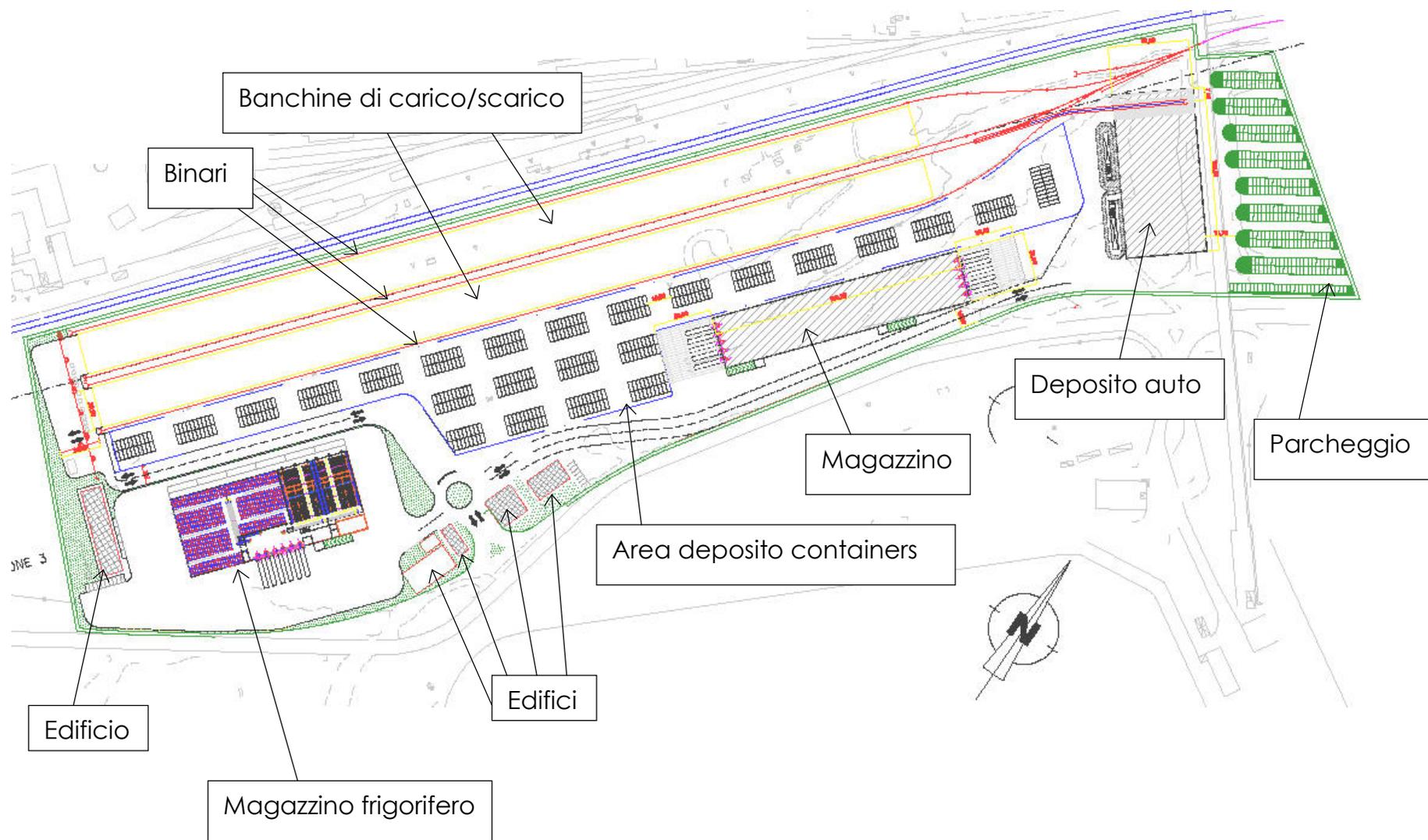
Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto Piattaforma Logistica	123.700 E1 ODR A002	01	55	55

## 8 RIFERIMENTI NORMATIVI E DOCUMENTI CITATI NEL TESTO

Sono elencati i documenti citati nel testo.

- [1] Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n. 152, “Norme in materia ambientale”, (G.U. n. 88 del 14 Aprile 2006).
- [2] Decreto Ministeriale n. 471 del 25 ottobre 1999, “ Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell’articolo 17 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, e successive modificazioni e integrazioni” (G.U. n. 293 del 15 dicembre 1999).
- [3] Decreto Ministeriale 3 Agosto 2005 “Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica” (G.U. n.201 del 30 Agosto 2005).
- [4] Decreto Ministeriale 5 Febbraio 1998 “Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del decreto legislativo n. 22 del 5 febbraio 1997” (G.U. n.88 del 16 Aprile 1998) e successive modifiche ed integrazioni.
- [5] “Piattaforma Logistica Intermodale - Piano della caratterizzazione ambientale, procedimento ex art. 9 D.M. 471/99”, SINA, prot. 123 E1 SPF A 001, 15/6/2005.
- [6] “Intervento di bonifica di interesse nazionale relativo al sito di Taranto - Verbale della Conferenza dei Servizi decisoria ex art. 14 della legge n.241/90 del 15/09/05”, prot. n. 18537/Qdv/DI, 19/09/2005.
- [7] “Analisi del comportamento di una diga in calcarenite e della sua fondazione in argille grigio-azzurre”, Phd Thesis, Technical University of Bari (Italy), Lollino, P. (2000).
- [8] “Criteri metodologici per l’applicazione dell’analisi assoluta di rischio ai siti contaminati - Revisione 1”, APAT, luglio 2006.





**Figura 2:** Schema degli interventi in progetto per la piattaforma logistica intermodale del porto di Taranto