Comune di Sassari

(Provincia di Sassari)

Piano di Caratterizzazione Ambientale delle aree impronta dei Gruppi 1 e 2 Centrale di Fiume Santo

Lithos S.r.l. - Via Municipale, 92 - Tissi (SS) Tel./fax 0792678014 - cell. 3463514050 - e-mail geo.lithos@gmail.com

Tavola:	Elaborato:	Pratica:
A_01	Modello Concettuale Definitivo e Analisi di Rischio	---
Scala: ---		Data: Gen.2020

Committente:

FIUME SANTO

Fiume Santo S.p.A.

Consulenza:

Lithos S.r.l.

Dott. geol. Alessandro Muscas

INDICE

1 PREMESSA 2
2 DESCRIZIONE DEL SITO E ANALISI STORICA 2
2.1 PREMESSA 2
2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO 2
2.3 STATO QUALITATIVO DELLE MATRICI AMBIENTALI 2
2.4 INDIVIDUAZIONE CENTRI DI PERICOLO 4
3 DESCRIZIONE INDAGINI AMBIENTALI 6
3.1 UBICAZIONE DEI PUNTI DI INDAGINE 6
3.2 MODALITÀ DI ESECUZIONE DEI SONDAGGI E DEI PIEZOMETRI 6
3.3 CAMPIONAMENTO DEI TERRENI 7
3.4 CAMPIONAMENTO DELLE ACQUE 8
3.5 ANALISI CHIMICHE DI LABORATORIO 8
4 RISULTATI DELLE INDAGINI 13
4.1 RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA DEL SITO 13
4.2 IDROGEOLOGIA LOCALE 14
4.3 RINVENIMENTO EVIDENZE DI CONTAMINAZIONE 14
4.4 ESITI ANALITICI 16
4.4.1 Terreni 17
4.4.2 Acque sotterranee 18
5 MODELLO CONCETTUALE DEFINITIVO 19
5.1 STATO QUALITATIVO DELLE MATRICI AMBIENTALI 19
6 VALUTAZIONE DEL RISCHIO SANITARIO-AMBIENTALE 21
6.1 PREMESSA 21
6.2 SORGENTI DI CONTAMINAZIONE E PERCORSI DI ESPOSIZIONE 21
6.3 PARAMETRI DEL SITO E CONCENTRAZIONI IN SORGENTE 23
6.4 CALCOLO DEL RISCHIO 25
6.5 VALUTAZIONE DEGLI ESITI DELL'ANALISI DI RISCHIO 27

ELABORATI ALLEGATI

B_01 - Stratigrafie e foto cassette catalogatrici

B_02 - Slug test

B_03 - Analisi di laboratorio

B_04 - Tabelle di riepilogo esiti analitici (anche in formato editabile)

B_05 – Verbali ARPAS

FILE: *Centrale Fiume Santo - Area Decommissioning.risknet*

TAV.01 - Inquadramento su base CTR

TAV.02 - Inquadramento aree Decommissioning

TAV.03 - Ubicazione sondaggi area produttiva e utilities

TAV.04 - Ubicazione sondaggi vasche ceneri

1 PREMESSA

In relazione alle attività di decommissioning dei gruppi di produzione 1 e 2 della Centrale di Fiume Santo (SS), è stato redatto un "Piano di Caratterizzazione Ambientale (PdC) delle aree impronta" finalizzato a definire lo stato ambientale delle aree interessate dal Progetto di Decommissioning.

La richiesta del PdC nasce nell'ambito della preparazione del "Piano di Decommissioning dei Gruppi 1 e 2 e Ripristino delle aree liberate", su indicazione rispettivamente del Ministero dell'Ambiente-Bonifiche con le note Prot. 0044563/TRI del 29.07.2013 e Prot. 0006476/TRI del 28.02.2014 e della Regione Sardegna con nota prot. n 234-2014-226 del 11.08.2014.

Nei mesi di luglio e agosto 2019 si è proceduto all'esecuzione delle indagini previste dal PdC, stralciando l'area "Parco Nafta", ancora oggetto del sequestro giudiziario, la cui caratterizzazione ambientale è stata posticipata ad una seconda fase.

Nel presente documento saranno illustrati gli esiti delle indagini ambientali nonché il Modello Concettuale Definitivo redatto sulla base di tali esiti.

2 DESCRIZIONE DEL SITO E ANALISI STORICA

2.1 PREMESSA

Per la definizione del Modello Concettuale Preliminare relativo alle aree interessate dal decommissioning sono stati utilizzati tutti i dati ambientali raccolti nel corso degli anni a partire dalla Caratterizzazione della Centrale avvenuta nel 2006. Si è inoltre tenuto conto delle attività svolte in dette aree nonché delle infrastrutture o impianti ivi presenti prima della demolizione.

2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Secondo il Modello Concettuale del Sito proposto a seguito del PdC del 2006, il sottosuolo dell'area di pertinenza della Centrale di Fiume Santo è costituito, in genere, da riporti antropici che si sovrappongono ad una serie di sedimenti plio-quaternari, il cui spessore complessivo è, mediamente, di alcune decine di metri ricoprenti il substrato roccioso miocenico o mesozoico di natura carbonatica.

I sedimenti di copertura, costituiti da sabbie e ghiaie spesso in matrice limo-argillosa, intercalate tra livelli di limi e argille, sono caratterizzati da frequenti variazioni litologiche e granulometriche che determinano forti contrasti di permeabilità in senso sia orizzontale sia verticale. I suddetti sedimenti sono sede di una circolazione idrica poco profonda la cui dinamica di flusso è fortemente condizionata dalle eterogenee condizioni di permeabilità del corpo acquifero.

2.3 STATO QUALITATIVO DELLE MATRICI AMBIENTALI

Per quanto riguarda la caratterizzazione chimica dei terreni, i parametri di tutti i 982 campioni di terreno prelevati durante la Caratterizzazione del sito risalente al 2006 e relativa a tutte le aree di proprietà della Centrale di Fiume Santo, sono risultati inferiori alle CSC riportate nella colonna B della tabella 1 dell'allegato 5 alla parte quarta del Titolo V del D.Lgs. 152/06 per "Siti ad uso commerciale e industriale" con eccezione dell'arsenico, rilevato in concentrazioni di

poco superiori alle CSC nel suolo superficiale (SS) in 9 campioni di terreno di riporto nonché nel suolo profondo (SP) in 30 campioni di terreni naturali costituiti, in prevalenza, da limi argillosi.

Per tale condizione nell'anno 2015 è stato attuato per la parte dei terreni il "Progetto di bonifica unitario suoli e falda Centrale Fiume Santo" approvato dal MATTM con Decreto Prot. 5427/TRI/DI/B del 05/11/2014. Il procedimento si è concluso, sempre per i terreni, con le "Certificazioni di avvenuta bonifica" n°1_16 del 03/03/2016 per l'Area interna produttiva e n°2_16 del 09/06/2016 per l'Area esterna non produttiva.

Per quanto riguarda la caratterizzazione chimica dei campioni di acqua di falda, questi avevano rilevato una contaminazione, che il Modello Concettuale del 2006 definiva di origine esterna, per la presenza di alcuni composti organici alifatici clorurati e per due parametri inorganici. Lo stesso Modello descriveva:

Il triclorometano è, fra i composti organo-clorurati rilevati nelle acque sotterranee, quello distribuito in maniera più uniforme. Esso si riscontra sia nella falda profonda che in quella superficiale, in particolar modo nei piezometri ubicati a monte idrogeologico dello stabilimento. Sulla base dei dati attualmente disponibili, risulta che:

- *nelle aree poste sopra gradiente alla Centrale si rileva la presenza di composti organo-clorurati in concentrazioni superiori alle CSC; la presenza di tali composti è dovuta a fenomeni antropici esterni alla Centrale;*
- *la presenza dei composti clorurati non è attribuibile alle attività produttive, in quanto non rientrano nel ciclo produttivo della Centrale (si veda nota tecnica: Valutazione presenza Organoclorurati in funzione delle attività industriali) inviata contestualmente a codesto progetto);*
- *procedendo da monte verso mare, le aree produttive non apportano alcun incremento alle concentrazioni di composti clorurati.*

La presenza di manganese e solfati è di origine naturale e non attribuibile alle attività produttive della Centrale.

Successivamente al Piano di Caratterizzazione realizzato nel 2006 le acque sotterranee sono state sempre oggetto di un monitoraggio periodico, con cadenza semestrale sino a gennaio 2017 e, successivamente, annuale, mediante il campionamento dei piezometri realizzati nell'ambito delle indagini.

Tali monitoraggi hanno sempre mostrato una certa oscillazione nella presenza di contaminanti, sia in termini di concentrazione che di diffusione.

I superamenti rilevati hanno riguardato prevalentemente composti alifatici clorurati cancerogeni e non cancerogeni e alcuni metalli nonché solfati e boro. La presenza di quest'ultimi è stata ricondotta al fenomeno di ingressione marina che influenza fortemente la qualità delle acque sotterranee in area costiera.

A partire dal giugno 2017, per la parte acque sotterranee del "Progetto di bonifica unitario suoli e falda Centrale Fiume Santo" approvato dal MATTM con Decreto Prot. 5427/TRI/DI/B del 05/11/2014, lungo la fascia costiera antistante il sito produttivo è operativa la barriera idraulica al fine di impedire il deflusso delle acque contaminate verso mare.

Il monitoraggio dei pozzi e piezometri realizzati nell'ambito del barrieramento, che viene effettuato con cadenza trimestrale in contraddittorio con ARPAS, ha messo in evidenza un trend in diminuzione dei livelli di contaminazione delle acque di falda, in particolare per quanto riguarda i composti alifatici clorurati che permangono in concentrazioni costantemente superiori alle CSC unicamente in pochi pozzi e nei piezometri di controllo ubicati nell'area est della Centrale nella parte più prossima al Fiume Santo e alla discarica di Minciaredda.

Questa discarica è stata indicata in qualità di sorgente primaria di contaminazione per tali composti, come acclarato nella "Istruttoria Tecnica" della Provincia di Sassari redatta in data 23.03.2018 nell'ambito del «Procedimento per l'individuazione del responsabile dell'inquinamento e per la messa in sicurezza e bonifica della falda acquifera interna al S.I.N. "Aree Industriali di Porto Torres", ai sensi dell'Art. 244 del D.Lgs. 152/06».

2.4 INDIVIDUAZIONE CENTRI DI PERICOLO

L'obiettivo del PdC delle aree impronta è stato quello di indagare le aree rese libere dalle operazioni di decommissioning (oramai completata alla data di edizione di questa relazione sia per l'area produttiva e utilities che per l'area delle vasche ceneri, a meno dell'area sottoposta al sequestro), completando la maglia di caratterizzazione realizzata nel 2006 al tempo del "PdC della Centrale di Fiume Santo".

Nell'ottica di un'implementazione ragionata delle indagini di caratterizzazione, sono stati inoltre individuati alcuni potenziali "centri di pericolo" che, in relazione alle attività svolte, avrebbero comportato un rischio ambientale maggiormente elevato. Di seguito si riporta un breve elenco dei centri di pericolo con la descrizione delle attività e/o infrastrutture che erano potenzialmente critiche per le matrici ambientali.

"Area produttiva dei gruppi 1 e 2" copre una superficie di circa 1,8 ha ed è costituita da:

- La "sala macchine", contenente turbine, alternatori ed apparecchiature dei cicli condensato e alimento;
- I trasformatori principali;
- L'edificio dei Servizi Ausiliari (comune ai due gruppi), dove sono ubicati la sala controllo, gli uffici del personale di esercizio, il laboratorio chimico e la sala quadri; al piano terra è inoltre ubicata la sala con le batterie al piombo di emergenza e la sala interruttori;
- L'edificio "Diesel" contenente i motori di emergenza;
- I generatori di vapore o caldaie;
- I precipitatori elettrostatici (uno per gruppo) di trattamento dei fumi;
- La ciminiera di 150 m alla quale riportano i condotti di fumi uscenti da entrambi i precipitatori elettrostatici.

In una zona contigua a quella dell'area produttiva è inoltre presente l'*impianto di trattamento acque reflue*, nel quale confluivano le acque reflue industriali e sanitarie che necessitavano di un trattamento prima di poter essere convogliate allo scarico a mare. Anche questa infrastruttura è stata inserita nel centro di pericolo in quanto è da considerarsi un'attività potenzialmente rischiosa per le matrici ambientali.

L'area è stata considerata un centro di pericolo per l'elevata densità di macchinari e infrastrutture impiantistiche, caratterizzati dalla presenza di sostanze potenzialmente inquinanti quali i combustibili utilizzati (OCD, gasolio), gli oli lubrificanti per i sistemi meccanici nonché gli oli dei trasformatori, i reflui industriali etc.

"Area vasche ceneri" nella quale sono ubicate le tre vasche di deposito preliminare di ceneri provenienti dalle sezioni di trattamento fumi e fanghi da impianti di trattamento acque reflue nonché la torre meteorologica alta 100 m oramai demolita. L'area, che ha un'estensione pari a circa 1,7 ha, è stata inserita tra i centri di pericolo per i contaminanti potenzialmente contenuti nelle ceneri stoccate quali ad esempio i metalli.

"Area parco nafta" nella quale sussistono, su una superficie complessiva di circa 8,8 ha, i tre serbatoi da 50.000 m^3 ed il serbatoio da 100.000 m^3 per lo stoccaggio dell'OCD oramai dismessi ed in parte già bonificati e "gas free". Tale area non è stata indagata in tale fase poiché sottoposta a sequestro giudiziario ma, ovviamente, in sede di predisposizione del PdC Aree impronta per i potenziali contaminanti presenti è stata indicata come "centro di pericolo" e le attività di indagine, oltre al completamento della maglia di caratterizzazione, prevederà un numero adeguato di sondaggi e piezometri "a valle" dei serbatoi.

Per osservare l'ubicazione dei sondaggi ambientali, poi effettivamente eseguiti in fase operativa su tutte le aree, si veda la cartografia allegata. Per i sondaggi previsti per il "Parco nafta" si veda il PdC delle Aree impronta approvato.

3 DESCRIZIONE INDAGINI AMBIENTALI

3.1 UBICAZIONE DEI PUNTI DI INDAGINE

In accordo con quanto indicato nel cap. 2.2.2 del "Manuale per le indagini ambientali nei siti contaminati" dell'APAT per la scelta dei punti di campionamento ai fini della caratterizzazione del suolo, i sondaggi ambientali sono stati ubicati nelle aree a maggiore concentrazione impiantistica e ove l'attività industriale specifica è risultata più a rischio di diretta/indiretta interazione con la matrice ambientale sottostante.

Inoltre, essendo anche il completamento delle attività di caratterizzazione delle indagini ambientali del 2006, nelle aree impronta è stato eseguito il completamento indagini con la maglia di 50*50 m, inserendo dei sondaggi ambientali al centro delle maglie stesse nelle aree rese libere dall'attività di decommissioning.

Nelle tavole allegate, "TAV.03_Ubicazione sondaggi area produttiva e utilities" e "TAV.04_Ubicazione sondaggi area vasche ceneri", viene riportata l'esatta ubicazione dei sondaggi effettuati e dei punti di prelievo dei due campioni di "Top Soil".

In totale sono stati realizzati 22 sondaggi ambientali, 9 dei quali attrezzati a piezometro, con una profondità variabile tra i 7 e i 15 m dal piano campagna.

La posizione definitiva dei punti di indagine, preventivamente concordata durante la Riunione Tecnica tenutasi in ARPAS – Dipartimento di Sassari in data 21.06.2019, sono stati successivamente identificati sul campo, in contradditorio, dalla Direzione Lavori e dai tecnici dell'ARPAS.

Tutte le attività di sondaggio e di campionamento, sia dei terreni che delle acque di falda, sono state eseguite, nell'ambito delle percentuali previste, in contradditorio con i tecnici dell'ARPAS e i verbali sono riportati nell'allegato "B_05 – Verbali ARPAS".

3.2 MODALITÀ DI ESECUZIONE DEI SONDAGGI E DEI PIEZOMETRI

I sondaggi sono stati eseguiti con una perforazione a secco e diametro 101 mm, sino ad una profondità tale da indagare l'acquifero superficiale che, come ampiamente noto, nell'area interessata dalle indagini si attesta mediamente intorno ai 6 m di profondità dal piano campagna.

Le carote sono state estratte dal carotiere mediante percussione sul tubo esterno o mediante estrusore per spinta meccanica dall'interno del carotiere e riposte progressivamente in canalette in PVC decontaminate. Le carote sono state poi riposte in cassette monostampo in PVC dotate di coperchio, siglate e fotografate. In ogni cassetta è stato indicato il numero del sondaggio, il numero della cassetta, la data, il cantiere oggetto dell'indagine, il Comune pertinente, le quote delle carote.

Successivamente è stata effettuata la ricostruzione stratigrafica che descrive la tipologia di terreno o litologia campionata, il grado di addensamento o consistenza, il grado di umidità, il colore, la presenza di odori o sostanze oleose e quanto necessario a rappresentare le carote estratte.

Nei sondaggi attrezzati a piezometro al termine della perforazione si è provveduto all'alesaggio dei fori sino al diametro Φ 180 mm, in modo da permettere l'installazione di idonea

tubazione microfessurata del diametro di 4" al fine di consentire il campionamento dinamico delle acque rinvenute. Al fondo i tubi piezometrici sono stati dotati di uno spezzone di tubazione cieca di 0,50 m con fondello conico con funzioni di "sand trap".

Lo spazio anulare tra le pareti del foro e del tubo piezometrico è stato riempito con ghiaietto siliceo pulito e selezionato, nel tratto fenestrato; nel tratto cieco superiore di circa 1 metro, l'intercapedine è stata riempita con bentonite, per almeno 0,3 m sopra il tratto finestrato.

Superiormente al tappo di bentonite e fino al piano di campagna, l'intercapedine è stata riempita con una miscela cemento/bentonite avente le seguenti proporzioni: Acqua 10 litri; Cemento 15-20 Kg; Bentonite 0,5 Kg. In questo modo, è stata separata con certezza la falda dagli strati superiori del suolo e si eviteranno infiltrazioni di acqua superficiale. Tutti i piezometri sono stati dotati di tappo a tenuta e chiusino.

3.3 CAMPIONAMENTO DEI TERRENI

In base a quanto indicato nel piano di indagini, da ogni sondaggio ambientale sono stati prelevati quattro campioni di terreno così distribuiti:

- campione 1: tratto tra 0-1 m dal piano di campagna;
- campione 2: un campione che comprende la zona di frangia capillare, corrispondente al tratto immediatamente superiore al livello della falda (quota da definire singolarmente);
- campione 3: tratto tra 2-3 m (zona intermedia ai primi due campioni);
- campione 4: tratto tra 5-6 m (zona intermedia ai primi due campioni).

Il campionamento del tratto più superficiale (primo metro) è stato effettuato una volta attraversata la porzione pavimentata, cementata o ricoperta da tout venant di cava grossolano non campionabile.

In alcuni sondaggi, a causa della presenza di strutture interrate o orizzonti non campionabili, non è stato possibile procedere al prelievo di tutti i 4 campioni previsti dal piano di indagini.

Nei sondaggi BHC_01 e BHV_07PZ, in seguito al rinvenimento di evidenze di contaminazione, che verranno descritte dettagliatamente nei successivi paragrafi, si è proceduto al prelievo di un campione per ogni metro di sondaggio, al fine di localizzare con maggiore accuratezza le eventuali sorgenti di contaminazione.

La preparazione dei campioni è stata effettuata rispettando le indicazioni inserite nel piano di indagini nonché quanto previsto dai protocolli di riferimento per il campionamento ambientale.

In totale sono stati inviati ad analisi chimica 85 campioni di terreno prelevati mediante sondaggi ambientali e 2 campioni di terreno superficiale (Top Soil) prelevati manualmente.

Il campionamento dei Top Soil è stato eseguito rimuovendo uno strato di terreno da una buca di dimensioni 100x100 cm e profondità 10 cm, attraverso una spatola adeguatamente decontaminata al termine di ogni campionamento.

3.4 CAMPIONAMENTO DELLE ACQUE

Il prelievo dei campioni di acqua di falda dai piezometri è avvenuto con campionamento dinamico mediante elettropompa sommersa. Il volume di acqua emunta prima del campionamento è stato di almeno 3 volte la capacità di pozzo. Da ogni piezometro sono state prelevate le aliquote necessarie per le analisi che sono state conservate ad una temperatura di +4 ÷ +6 °C sino alla consegna al laboratorio chimico avvenuta entro poche ore dal campionamento.

Dopo ogni operazione di spurgo e campionamento, la pompa è stata decontaminata mediante lavaggio e con flusso idrico interno di acque di cui sia stata verificata la rispondenza alle CSC della tabella 2 dell'allegato 5 al Titolo V della parte IV del D.Lgs n°152/06 e s.m.i.. Le acque emunte durante i campionamenti sono state trattate come rifiuti e smaltite in base alla normativa vigente.

3.5 ANALISI CHIMICHE DI LABORATORIO

Le analisi chimiche sono state effettuate utilizzando metodiche analitiche ufficiali UNICHIM, CNR IRSA, e EPA o comunque in linea con le indicazioni del D. Lgs. 152/06 e s.m.i., anche per quanto attiene i limiti inferiori di rilevabilità. Le risultanze sono state corredate da appositi certificati di analisi, timbrati da professionisti abilitati.

Per ogni analita o gruppo di analiti è stata riportata:

- la procedura analitica utilizzata e le procedure di controllo di qualità del dato, queste ultime necessarie per garantire che i dati ottenuti soddisfino i criteri di precisione ed accuratezza;
- il limite di rilevabilità del metodo, che è stato di un ordine di grandezza inferiore ai limiti previsti dalla colonna B della tabella 1 e dalla tabella 2 dell'allegato 5 agli allegati al Titolo V della parte quarta del D.Lgs. n°152/06.

La ricerca di diossine, furani e PCB nei campioni di top soil è stata effettuata per mezzo di metodologie analitiche ad alta risoluzione.

Su un numero di 10 campioni rappresentativi delle condizioni dell'area, è stata inoltre determinata una serie di parametri sito-specifici.

Le analisi dei terreni sono state condotte sul passante ai 2 mm e riferite alla totalità dei materiali secchi, comprensiva anche dello scheletro.

I pacchetti analitici applicati sui campioni di terreno e acque sono stati gli stessi utilizzati nelle indagini del PdC del 2006. In ottemperanza con le prescrizioni degli Enti il set analitico previsto per i terreni è stato integrato con le classi "composti organici clorurati cancerogeni e non cancerogeni" e "composti alogenati". Inoltre sono stati inseriti alcuni analiti integrativi appartenenti alle classi già ricercate nelle indagini del PdC del 2006.

Per quanto riguarda i campioni di Top Soil il pacchetto analitico ha previsto, in aggiunta agli elementi indicati per i campioni di terreno, la ricerca di PCB, diossine, furani ed amianto.

TERRENI: Tab. 1 colonna "B" parte 4^ D.Lgs. n°152/2006 e s.m.i."

scheletro tra 2 cm e 2 mm (g/kg)
residuo a 105°C (%)
alluminio (mg/kg s.s.)
arsenico (mg/kg s.s.)
berillio (mg/kg s.s.)
cadmio (mg/kg s.s.)
cobalto (mg/kg s.s.)
cromo (mg/kg s.s.)
rame (mg/kg s.s.)
ferro (mg/kg s.s.)
mercurio (mg/kg s.s.)
cromo esavalente (mg/kg s.s.)
nichel (mg/kg s.s.)
piombo (mg/kg s.s.)
selenio (mg/kg s.s.)
tallio (mg/kg s.s.)
vanadio (mg/kg s.s.)
zinco (mg/kg s.s.)
benzene (mg/kg s.s.)
etilbenzene [20] (mg/kg s.s.)
stirene [21] (mg/kg s.s.)
toluene [22] (mg/kg s.s.)
o-xilene (mg/kg s.s.)
m-xilene (mg/kg s.s.)
p-xilene (mg/kg s.s.)
xileni [23] (mg/kg s.s.)
sommatoria organici aromatici [da 20 a 23] (mg/kg s.s.)
benzo (a) antracene [25] (mg/kg s.s.)
benzo (a) pirene [26] (mg/kg s.s.)
benzo (b) fluorantene [27] (mg/kg s.s.)
benzo (k) fluorantene [28] (mg/kg s.s.)
benzo (g, h, i) perilene [29] (mg/kg s.s.)
crisene [30] (mg/kg s.s.)
dibenzo (a,e) pirene [31] (mg/kg s.s.)
dibenzo (a,l) pirene [32] (mg/kg s.s.)
dibenzo (a,i) pirene [33] (mg/kg s.s.)
dibenzo (a,h) pirene [34] (mg/kg s.s.)
dibenzo (a,h) antracene (mg/kg s.s.)
indeno (1,2,3-c,d) pirene (mg/kg s.s.)
pirene (mg/kg s.s.)
sommatoria policiclici aromatici [da 25 a 34] (mg/kg s.s.)
naftalene (mg/kg s.s.)
acenaftilene (mg/kg s.s.)
acenaftene (mg/kg s.s.)
fluorene (mg/kg s.s.)
fluorantene (mg/kg s.s.)
fenantrene (mg/kg s.s.)
antracene (mg/kg s.s.)
esaclorobutadiene (mg/kg s.s.)

SEGUE TERRENI: Tab. 1 colonna "B" parte 4^ D.Lgs. n°152/2006 e s.m.i."

clorometano (mg/kg s.s.)
diclorometano (mg/kg s.s.)
triclorometano (cloroformio) (mg/kg s.s.)
cloruro di vinile (mg/kg s.s.)
1,2-dicloroetano (mg/kg s.s.)
1,1-dicloroetilene (mg/kg s.s.)
tricloroetilene (mg/kg s.s.)
tetracloroetilene (mg/kg s.s.)
1,1-dicloroetano (mg/kg s.s.)
1,2-dicloroetilene (mg/kg s.s.)
1,1,1-tricloroetano (mg/kg s.s.)
1,2-dicloropropano (mg/kg s.s.)
1,1,2-tricloroetano (mg/kg s.s.)
1,2,3-tricloropropano (mg/kg s.s.)
1,1,2,2-tetracloroetano (mg/kg s.s.)
idrocarburi pesanti C>12 (mg/kg s.s.)
idrocarburi leggeri C inferiore o uguale a 12 (mg/kg s.s.)
amianto (SEM) (mg/kg s.s.)
2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-diossina (ng/kg s.s.)
1,2,3,7,8-pentaclorodibenzo-p-diossina (ng/kg s.s.)
1,2,3,4,7,8-esaclorodibenzo-p-diossina (ng/kg s.s.)
1,2,3,6,7,8-esaclorodibenzo-p-diossina (ng/kg s.s.)
1,2,3,4,6,7,8-eptaclorodibenzo-p-diossina (ng/kg s.s.)
1,2,3,7,8,9-esaclorodibenzo-p-diossina (ng/kg s.s.)
octaclorodibenzo-p-diossina (ng/kg s.s.)
2,3,7,8-tetraclorodibenzofurano (ng/kg s.s.)
1,2,3,7,8-pentaclorodibenzofurano (ng/kg s.s.)
2,3,4,7,8-pentaclorodibenzofurano (ng/kg s.s.)
1,2,3,4,7,8-esaclorodibenzofurano (ng/kg s.s.)
1,2,3,6,7,8-esaclorodibenzofurano (ng/kg s.s.)
2,3,4,6,7,8-esaclorodibenzofurano (ng/kg s.s.)
1,2,3,7,8,9-esaclorodibenzofurano (ng/kg s.s.)
1,2,3,4,6,7,8-eptaclorodibenzofurano (ng/kg s.s.)
1,2,3,4,7,8,9-eptaclorodibenzofurano (ng/kg s.s.)
octaclorodibenzofurano (ng/kg s.s.)
metilfenolo (o- m- p-) (mg/kg s.s.)
o-metilfenolo (mg/kg s.s.)
m-metilfenolo (mg/kg s.s.)
p-metilfenolo (mg/kg s.s.)
o-clorofenolo (mg/kg s.s.)
2,4-diclorofenolo (mg/kg s.s.)
2,4,6-triclorofenolo (mg/kg s.s.)
pentaclorofenolo (mg/kg s.s.)
tribromometano (bromoformio) (mg/kg s.s.)
1,2-dibromoetano (mg/kg s.s.)
dibromoclorometano (mg/kg s.s.)
bromodiclorometano (mg/kg s.s.)
tossicità equivalente PCDD-PCDF I-TEQ (ng/kg s.s.)
policlorobifenili (PCB) espressi come Arochlor (mg/kg s.s.)

TERRENI: Parametri sito specifici

Densità del suolo, frazione di carbonio organico, pH e curva granulometrica

ACQUE: Tab. 2 parte 4^ - D.Lgs. n°152/2006 e s.m.i.

alluminio (µg/l)
arsenico (µg/l)
berillio (µg/l)
cadmio (µg/l)
cobalto (µg/l)
cromo totale (µg/l)
ferro (µg/l)
mercurio (µg/l)
nichel (µg/l)
piombo (µg/l)
rame (µg/l)
selenio (µg/l)
vanadio (µg/l)
zinco (µg/l)
manganese (µg/l)
cromo (VI) (µg/l)
boro (µg/l)
cianuri liberi (µg/l)
ione fluoruro (mg/l)
ione solfato (mg/l)
ione cloruro (mg/l)
ione nitrito (mg/l)
azoto ammoniacale (mg/l)
benzene (µg/l)
etilbenzene (µg/l)
stirene (µg/l)
toluene (µg/l)
p-xilene (µg/l)
benzo(a)antracene (µg/l)
benzo(a)pirene (µg/l)
benzo(b)fluorantene (µg/l)
benzo(k)fluorantene (µg/l)
benzo(g,h,i)perilene (µg/l)
crisene (µg/l)
dibenzo(a,h)antracene (µg/l)
indeno(1,2,3-c,d)pirene (µg/l)
pirene (µg/l)
sommatoria (31, 32, 33, 36) (µg/l)
dibenzo(a,e)pirene (µg/l)
dibenzo(a,l)pirene (µg/l)
dibenzo(a,i)pirene (µg/l)
dibenzo(a,h)pirene (µg/l)
naftalene (µg/l)
antracene (µg/l)
acenaftene (µg/l)
acenaftilene (µg/l)

SEGUE ACQUE: Tab. 2 parte 4^ - D.Lgs. n°152/2006 e s.m.i.

fluorantene (µg/l)
fluorene (µg/l)
fenantrene (µg/l)
clorometano (µg/l)
triclorometano (cloroformio) (µg/l)
cloruro di vinile (µg/l)
1,2-dicloroetano (µg/l)
1,1-dicloroetilene (µg/l)
tricloroetilene (µg/l)
tetracloroetilene (µg/l)
esaclorobutadiene (µg/l)
sommatoria organoalogenati (µg/l)
1,1-dicloroetano (µg/l)
1,2-dicloroetilene (µg/l)
cis-1,2-dicloroetilene (µg/l)
trans-1,2-dicloroetilene (µg/l)
1,2-dicloropropano (µg/l)
1,1,2-tricloroetano (µg/l)
1,2,3-tricloropropano (µg/l)
1,1,2,2-tetracloroetano (µg/l)
tribromometano (bromoformio) (µg/l)
1,2-dibromoetano (µg/l)
dibromoclorometano (µg/l)
bromodiclorometano (µg/l)
o-clorofenolo (µg/l)
2,4-diclorofenolo (µg/l)
2,4,6-triclorofenolo (µg/l)
pentaclorofenolo (µg/l)
policlorobifenili (PCB) (µg/l)
etanolammina (mg/l)
idrocarburi alifatici C10-C40 (µg/l)
idrocarburi totali (espressi come n-esano) (µg/l)

4 RISULTATI DELLE INDAGINI

4.1 RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA DEL SITO

La ricostruzione stratigrafica del sito è stata fatta attraverso l'analisi delle carote di terreno prelevate lungo la verticale di ogni sondaggio ambientale. Tali informazioni sono state confrontate con i dati provenienti da precedenti lavori d'indagine nel sottosuolo di carattere ambientale e geotecnico svolti all'interno dell'area in oggetto.

Si riassume nel seguito lo schema stratigrafico del sottosuolo relativo alle due aree investigate denominate "area produttiva e utilities" e "area vasche ceneri". Il modello geologico riportato sintetizza in maniera schematica una realtà ben più complessa caratterizzata dalla presenza nel sottosuolo di una fitta rete di opere di fondazione superficiali e profonde e di volumi di terreno di riporto difficilmente discriminabili da quelli in posto in quanto derivanti da scavi e rimodellamenti di aree attigue.

Lo schema stratigrafico è così descritto, dall'alto verso il basso:

Area produttiva e utilities

- **Da 0,00 a 0,50 m dal p.c.:** Soletta di calcestruzzo e/o pavimentazione stradale. Come accennato in premessa, le opere di fondazione si spingono spesso in profondità (pali di fondazione a largo diametro) ma non sono state oggetto di carotaggio;
- **Da 0,5 a 4,00 m circa dal p.c. (variabile fino a 7,00 m):** Sabbie da medie a grossolane con percentuali variabili di ghiaie di natura silicea, di colore variabile dal marrone al rossastro, generalmente con grado di addensamento basso, debolmente umide. Si tratta prevalentemente di materiali di riporto derivanti, presumibilmente, da scavi limitrofi.
- **Da 4,0 a 5,00 m dal p.c. (variabile fino a 9,00 m):** Sabbie e ghiaie di ambiente litorale, ricche di gusci e frammenti di bivalvi, di colore grigio, poco addensate. Questo livello è stato rinvenuto soltanto nella fascia a monte dell'area impronta dei Gruppi 1 e 2 nei sondaggi BHC_01, BHV_08PZ, BHV_09, BHV10PZ e BHV11;
- **Oltre 5,00 m circa dal p.c.:** Argille e limi con intercalati rari livelli di sabbie e ghiaie in matrice argillosa, di colore prevalentemente rossastro e attribuibili alla *Formazione di Fiume Santo* (**FUA**) di ambiente fluviale e datata Tortoniano-Messiniano.

Area vasche ceneri

- **Da 0,00 a 0,50 m dal p.c.:** Soletta di calcestruzzo e/o pavimentazione stradale. I sondaggi ubicati all'interno delle vasche hanno individuato uno spessore del fondo in calcestruzzo pari a circa 50 cm mentre i sondaggi esterni hanno evidenziato la presenza della pavimentazione in asfalto pari a circa 10 cm;
- **Da 0,5 a 6,00 m circa dal p.c.: (-2,00 m dal fondo vasca):** Sabbie da medie a grossolane con percentuali variabili di ghiaie di natura silicea, di colore variabile dal marrone al rossastro, generalmente con grado di addensamento basso, debolmente umide. Si tratta prevalentemente di materiali di riporto derivanti, presumibilmente, da scavi limitrofi.

- **Oltre 6,00 m circa:** Argille e limi con intercalati rari livelli di sabbie e ghiaie in matrice argillosa, di colore prevalentemente rossastro e attribuibili alla *Formazione di Fiume Santo* (**FUA**) di ambiente fluviale e datata Tortoniano-Messiniano.

4.2 IDROGEOLOGIA LOCALE

Nell'area oggetto della caratterizzazione le caratteristiche idrogeologiche sono legate alle caratteristiche intrinseche dei depositi presenti, ai reciproci assetti stratigrafici e strutturali nonché alla presenza nel sottosuolo di elementi antropici.

I riscontri diretti provenienti dai sondaggi hanno permesso una buona ricostruzione litostratigrafica generale e un'ottima identificazione delle qualità dei depositi intercettati dai sondaggi stessi. Le caratteristiche granulometriche delle formazioni riconosciute hanno poi permesso una fedele ricomposizione di un modello idrogeologico che tenesse conto non solo delle singolarità formazionali in termini di trasmissività, ma anche di schemi in cui i rapporti giaciturali e sedimentari tra le formazioni potessero restituire modelli dinamici di migrazione laterale dei flussi idrici sotterranei.

Nel sito è presente una falda, ospitata all'interno della Formazione di origine alluvionale di Fiume Santo (FUA), la cui soggiacenza media è di circa 5,50 m dal piano campagna. Tale formazione è caratterizzata dall'abbondante presenza di matrice argilloso-limosa che limita fortemente la trasmissività dell'acquifero così come evidenziato dai numerosi studi e monitoraggi eseguiti nell'area.

La direzione di deflusso delle acque, all'interno dell'area di decommissioning, è da sud verso nord.

Sono state eseguite n°9 prove "Slug test" (vedi allegato B_02 - SLUG TEST), una per ogni piezometro realizzato, i cui esiti, sintetizzati nella tabella seguente, confermano una permeabilità dell'acquifero variabile da bassa a molto bassa ($K = 1{,}027 \times 10^{-06} \div 9{,}871 \times 10^{-09}$).

ID – Slug test	Permeabilità K (m/sec)
BHV_01PZ	$1{,}313 \times 10^{-06}$
BHV_03PZ	$2{,}096 \times 10^{-06}$
BHV_05PZ	$9{,}125 \times 10^{-08}$
BHV_07PZ	$1{,}953 \times 10^{-07}$
BHV_08PZ	$1{,}027 \times 10^{-06}$
BHV_10PZ	$9{,}871 \times 10^{-09}$
BHV_13PZ	$3{,}623 \times 10^{-08}$
BHV_22PZ	$1{,}056 \times 10^{-06}$
BHV_25PZ	$5{,}633 \times 10^{-07}$

4.3 RINVENIMENTO EVIDENZE DI CONTAMINAZIONE

Durante l'esecuzione delle indagini ambientali previste è stata riscontrata, in due differenti casi, un'evidenza visiva di contaminazione legata alla presenza di sostanze potenzialmente contaminanti nei terreni.

Frammenti cemento/amianto

Il primo caso ha interessato il sondaggio BHV_07pz, durante la cui esecuzione è stata riscontrata nella carota la presenza di frammenti di cemento/amianto frammisto ai terreni di riporto nello strato di terreno compreso tra le quote di -1,00 e -5,00 m dal piano di campagna.

Il rinvenimento è stato immediatamente comunicato agli Enti competenti ai sensi del D.Lgs. 152/06, Art. 245 commi 1 e 2 (Prot. 0000652-2019-87-23 P del 19/07/2019).

Successivamente, in ottemperanza con quanto prescritto nel Piano di Caratterizzazione ed in accordo con ARPAS, si è proceduto al prelievo di un campione per ogni metro di sondaggio potenzialmente interessato dalla contaminazione. È stato inoltre prelevato un frammento del materiale identificato come cemento/amianto nel quale le analisi di laboratorio hanno verificato la presenza di fibre sia di crisotilo che di crocidolite.

Poiché l'area in cui è stato realizzato il sondaggio BHV_07pz è interessata dalla presenza di una soletta in calcestruzzo di 50 cm di spessore ed i frammenti di cemento/amianto sono stati rinvenuti unicamente nel suolo profondo, non è stato necessario procedere con particolari misure di messa in sicurezza dell'area in quanto non vi erano possibilità di propagazione dell'eventuale contaminazione.

Ad ogni modo le cassette catalogatrici contenenti le carote estratte sono state sigillate e riposte in un locale chiuso mentre i materiali di risulta derivanti dall'esecuzione del sondaggio sono stati raccolti in un apposito big bag e stoccati nell'area di deposito temporaneo rifiuti individuata dalla ditta responsabile delle indagini.

Gli esiti delle analisi effettuate sui cinque campioni di terreno prelevati hanno tutti riportato concentrazioni di amianto inferiori ai limiti di rilevabilità, per tale motivo il procedimento di notifica si è concluso con la comunicazione Prot. 0000678-2019-87-23 P del 02/08/2019.

Idrocarburi

Successivamente, durante l'esecuzione del sondaggio BHC_01 sono state rilevate evidenze olfattive e visive di contaminazione presumibilmente riferibili ad idrocarburi. In particolare tali evidenze riguardano i terreni dello strato insaturo nel tratto tra la quota -3,50 e -4,50 metri dal p.c. in maniera diffusa e nel tratto successivo tra -4,50 e -5,50 metri dal p.c. localizzata in sottili livelletti nei passaggi granulometrici.

Anche in questo caso, in seguito alla comunicazione agli Enti competenti ai sensi del D.Lgs. 152/06 art. 245 commi 1 e 2, (Prot. 0000657-2019-87-23 P del 24/07/2019) si è proceduto con il campionamento dell'intera colonna di terreno potenzialmente contaminata.

Tra i cinque campioni prelevati sono stati registrati due casi di superamento della CSC per gli "idrocarburi pesanti C>12", corrispondenti ai campioni BHC_01/03 e BHC_01/04 così come comunicato con nota Prot. 0000680-2019-87-23 P del 05/08/2019.

In data 05.08.2019, al fine di indagare con maggior dettaglio l'estensione della potenziale contaminazione, è stata inoltre comunicata via PEC l'intenzione di eseguire nell'immediato un ulteriore sondaggio geognostico, denominato BHC_01i, ubicato a circa 10 m a valle idrogeologica del BHC_01.

Il sondaggio integrativo, eseguito in contradditorio con ARPAS in data 07.08.2019, non ha palesato evidenze di contaminazione come poi confermato dalle analisi sui terreni eseguite.

Non è stato necessario attrezzare a piezometro il sondaggio BHC_01 o il sondaggio integrativo BHC_01i in quanto a valle idrogeologica dell'area interessata sono già presenti diversi piezometri utili al monitoraggio della falda.

In particolare si può fare riferimento ai pozzi del "settore D" del sistema di barrieramento idraulico della Centrale, ubicati immediatamente a valle idrogeologica della potenziale contaminazione. Tali pozzi sono monitorati periodicamente, con cadenza trimestrale, e tra gli analiti ricercati sono compresi anche gli idrocarburi totali, le cui concentrazioni sono sempre risultate inferiori ai limiti di rilevabilità.

Da uno studio approfondito dell'area e delle carte relative ai dettagli delle fondazioni dei Gruppi 1 e 2 è risultato che il punto in cui è stato eseguito il sondaggio si trova esattamente tra due vasche interrate all'interno delle quali è stata verificata la presenza di acque oleose e dalle quali, si può ragionevolmente supporre, che ci sia stato un trafilamento del contenuto. Si può anche ipotizzare che l'evento fosse recente e che le lesioni alle vasche siano state prodotte durante le attività di decommissioning con mezzi meccanici.

In data 08.08.2019 si è pertanto provveduto al campionamento di entrambe le vasche denominate V1 e V2. Nella vasca V1 è stata accertata la presenza di pochi millimetri di surnatante. Le acque campionate sottoposte ad analisi hanno palesato, per entrambe, una concentrazione di idrocarburi totali, se raffrontate alle CSC delle acque di falda, di diverse unità superiori ai limiti.

Pertanto ne è stato disposto l'immediato emungimento e stoccaggio temporaneo in cisternette in attesa della caratterizzazione come rifiuto e smaltimento come poi effettuato in data 2 e 4 dicembre 2019 per un totale di 12.480 Kg.

4.4 ESITI ANALITICI

Nel seguente capitolo vengono riassunti i risultati delle prove analitiche effettuate sui campioni dei terreni, del "top soil" e delle acque di falda prelevati nel corso della caratterizzazione ambientale all'interno dell'area Decommissioning. Gli esiti analitici completi sono riportati nelle tabelle riepilogative e nei Rapporti di Prova del laboratorio chimico allegati alla presente relazione.

Per una difformità tra l'elenco degli analiti previsti dal PdC, integrate con quelle delle prescrizioni degli Enti, e quello richiesto al laboratorio nell'ambito della gara di incarico, alcuni elementi analitici sono stati integrati in una seconda fase. Per questo motivo, in allegato, per ogni campione sono presenti due certificati riferiti al medesimo campione mentre nelle tabelle di riepilogo i dati sono stati assemblati.

In particolare per quanto riguarda le acque sotterranee si è reso necessario procedere anche al ricampionamento delle acque degli stessi piezometri, come poi avvenuto in contraddittorio con ARPAS nei giorni tra il 06.12.2019 e il 09.12.2019, mentre per i terreni è stato sufficiente effettuare delle verifiche sulle analisi già effettuate o integrate con analisi sui campioni di terreno ancora in possesso dello stesso laboratorio.

4.4.1 Terreni

I valori di riferimento utilizzati per i terreni e per il "top soil" sono le Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) indicate nella colonna B della tabella 1 dell'allegato 5 al titolo V della parte quarta del D. Lgs 152/06, riservato ai siti ad uso commerciale ed industriale.

Nel corso della caratterizzazione sono stati prelevati i seguenti campioni:

- 85 campioni di terreno prelevati dalle carote a differente profondità in base a quanto indicato nel Piano di Caratterizzazione e alle caratteristiche rinvenute in fase di perforazione;
- 2 campioni di "top soil";
- 10 campioni destinati ad analisi dei parametri sito-specifici.

Gli esiti analitici hanno fatto registrare il superamento dei limiti di legge solamente per due parametri.

Nello specifico è stato misurato un valore di nichel pari a 934 mg/kg (a fronte di una CSC pari a 500 mg/kg) nel campione "BHV_21/1", prelevato nell'area "Vasche ceneri" e relativo al suolo superficiale (primo metro).

Sono risultati invece due i valori soprasoglia per l'analita "idrocarburi pesanti C>12" (la cui CSC è pari a 750 mg/kg), per il quale è stata misurata una concentrazione pari a 7051,6 mg/kg nel campione BHC_01/3 e 1658,1 nel campione BHC_01/04. Entrambi i campioni sono stati prelevati nello strato di suolo profondo indagato dal sondaggio BHC_01, la cui ubicazione ricade al centro dell'area impronta dei gruppi dismessi.

Come descritto nel precedente paragrafo, già durante l'esecuzione del sondaggio BHC_01 era stato immediatamente segnalato il rinvenimento di un'evidenza di contaminazione da idrocarburi e, per tale motivo, si era proceduto con il prelievo di un campione per ogni metro di terreno interessato dalla potenziale contaminazione.

Sui due campioni interessati dalla presenza di idrocarburi, così come sul campione di surnatante prelevato dalla vasca interrata ubicata in prossimità del sondaggio BHC_01, è stata effettuata la speciazione MADEP. Nella tabella seguente sono riportati i risultati delle speciazioni.

Parametro	BHC_01/3	BHC_01/4	Surnatante Vasca 1
idrocarburi alifatici C5-C8 (%)	< 0.1	< 0.1	< 0.1
idrocarburi alifatici C9-C18 (%)	< 0.1	< 0.1	< 0.1
idrocarburi alifatici C19-C36 (%)	100	100	100
idrocarburi aromatici C5-C8 (%)	< 0.1	< 0.1	< 0.1
idrocarburi aromatici C9-C10 (%)	< 0.1	< 0.1	< 0.1
idrocarburi aromatici C11-C22 (%)	< 0.1	< 0.1	< 0.1

Come si può vedere in tutti e tre i casi la speciazione ha riportato una costituzione del prodotto riconducibile totalmente alla classe "idrocarburi alifatici C19-C36", a conferma che la presenza di idrocarburi nei terreni sia riconducibile ad una fuoriuscita dalla vasca interrata.

Le analisi per la determinazione dei parametri sito-specifici, eseguite su 10 campioni prelevati negli strati saturo e insaturo, hanno restituito i seguenti parametri.

Parametro	BHV_05PZ/ADR/1	BHV_05PZ/ADR/2	BHV_08_PZ/ADR/1	BHV_08_PZ/ADR/2	BHV_09/ADR/1
Densità (kg/Dm^3)	1,49	1,34	2,06	1,71	1,48
Frazione carbonio organico (FOC) (g C/g suolo)	0,00352	0,00455	0,00356	0,00175	0,00455
Determinazione del grado di reazione (unità pH)	8,28	8,38	9,39	9,21	9,58

Parametro	BHV_09/ADR/2	BHV_22PZ/ADR/1	BHV_22PZ/ADR/2	BHV_25PZ/ADR/1B	BHV_25PZ/ADR/2B
Densità (kg/Dm^3)	1,48	1,64	1,57	1,63	1,88
Frazione carbonio organico (FOC) (g C/g suolo)	0,00222	0,00689	0,00237	0,00298	0,00251
Determinazione del grado di reazione (unità pH)	8,66	8,41	7,74	7,56	8,34

4.4.2 Acque sotterranee

Per ciò che attiene le acque sotterranee, i campioni prelevati dai 9 piezometri realizzati nel corso delle indagini hanno mostrato alcuni superamenti relativi ai metalli.

In particolare è stato registrato un valore superiore alla CSC per i parametri alluminio, nichel, ferro e cromo IV mentre sono stati quattro i superamenti della CSC per il manganese.

Per quanto riguarda i parametri inorganici sono stati registrati 3 valori soprasoglia per il boro e 7 per i solfati (riconducibili al fenomeno di ingressione marina che influenza la parte di falda sotterranea prossima alla linea di costa) nonché 2 superamenti della CSC per i nitriti.

In occasione del campionamento delle acque si è inoltre proceduto alla misurazione in campo dei parametri chimico-fisici, gli esiti sono riportati nella tabella seguente.

Piezometro	Livello (m da b.p.)	Temperatura (C°)	Conducibilità (µS)	pH	Potenziale Redox (mV)	Ossigeno disciolto (%)
BHV_01PZ	5,66	18,9	3060	8,01	63,6	79,8
BHV_03PZ	5,75	19,2	3517	7,84	57,8	85,1
BHV_05PZ	5,89	19,1	3559	7,40	115,3	63,4
BHV_07PZ	5,49	19,6	2347	8,24	39,5	54,0
BHV_08PZ	5,28	19,8	2195	8,70	37,9	73,3
BHV_10PZ	5,76	19,6	1724	9,23	9,1	75,4
BHV_13PZ	5,71	19,3	1404	8,51	56,8	67,4
BHV_22PZ	5,93	18,4	5980	6,89	109,1	56,4
BHV_25PZ	5,91	18,5	5321	7,02	95,0	64,8

5 MODELLO CONCETTUALE DEFINITIVO

5.1 STATO QUALITATIVO DELLE MATRICI AMBIENTALI

In relazione a quanto esposto nei capitoli precedenti, gli esiti delle indagini svolte hanno consentito di definire dettagliatamente lo stato qualitativo delle matrici ambientali presenti nel sito.

Come specificato in premessa l'area "Parco Nafta" sarà interessata dalle indagini di caratterizzazione solamente in una seconda fase, per questo motivo quanto verrà descritto nei successivi paragrafi è da intendersi rappresentativo delle restanti aree, ovvero "Area Utilities" e "Area vasche ceneri", sulle quali risultano concluse le operazioni di Decommissioning.

Una volta svolte le indagini previste per l'area "Parco Nafta" si procederà con una integrazione del presente Modello Concettuale Definitivo e Analisi di Rischio.

Terreni

Per quanto riguarda la matrice ambientale suolo, superficiale e profondo, le indagini hanno evidenziato poche criticità. Come visto nei precedenti capitoli, durante l'esecuzione dei sondaggi in due differenti occasioni sono state segnalate evidenze da contaminazione visiva e/o olfattiva.

Nel primo caso la presenza di frammenti di materiale da costruzione in cemento/amianto frammisti al suolo carotato non ha avuto riscontro con le analisi effettuate sui campioni di terreno, prelevati lungo tutto lo strato su cui sono stati rinvenuti i frammenti stessi, nei quali l'amianto è sempre risultato in concentrazione inferiore ai limiti di rilevabilità.

Nel secondo caso la presenza di idrocarburi segnalata nel sondaggio BHC_01 è stata confermata dalle analisi di laboratorio, che hanno evidenziato la presenza di "idrocarburi pesanti C>12" in concentrazione superiore alla rispettiva CSC in due campioni ed in tracce nei restanti tre campioni.

L'origine degli idrocarburi è stata individuata in un'adiacente vasca interrata, all'interno della quale è stata rinvenuta un'emulsione oleosa con presenza di surnatante risultato assimilabile al prodotto presente nei terreni sulla base dell'analisi gascromatografica.

La presenza di idrocarburi è risultata comunque circoscritta all'intorno del sondaggio BHC_01, in nessuno dei sondaggi adiacenti, compreso il sondaggio integrativo BHC_01i realizzato circa 10 m a valle idrogeologica del sondaggio BHC_01, sono state riscontrate evidenze visive/olfattive o analitiche della presenza di idrocarburi.

Un ulteriore superamento di CSC è stato riscontrato per il nichel nel campione di suolo superficiale prelevato nel sondaggio BHV_21, ubicato all'interno di una delle vasche ceneri.

Acque sotterranee

Le indagini effettuate sulle acque sotterranee mediante il campionamento dei 9 piezometri realizzati hanno restituito un quadro complessivo assolutamente allineato con i dati storici relativi alla falda presente nell'area della Centrale di Fiume Santo.

Si ricorda infatti che nel sito è attualmente in esecuzione un monitoraggio periodico delle acque sotterranee che prevede il campionamento, con cadenza trimestrale, di tutti i pozzi e piezometri relativi al sistema di barrieramento idraulico realizzato in prossimità della linea di costa e di ulteriori 5 piezometri ubicati a monte idrogeologico delle aree produttive. Inoltre il

monitoraggio periodico prevede il campionamento, con cadenza annuale, di tutti i piezometri della rete storica realizzata nell'ambito del Piano di Caratterizzazione della Centrale del 2006.

Gli unici superamenti delle CSC sono stati rilevati per alcuni metalli e parametri inorganici la cui presenza nelle acque di falda nell'area della Centrale di Fiume Santo è nota da tempo e non presenta tratti di particolare criticità.

Peraltro la diffusione della maggior parte dei parametri risultati soprasoglia ha avuto carattere puntuale o limitata a pochi piezometri, fatta eccezione per i solfati che sono risultati oltre il limite in 7 piezometri dei 9 campionati.

6 VALUTAZIONE DEL RISCHIO SANITARIO-AMBIENTALE

6.1 PREMESSA

La descrizione dello stato qualitativo delle matrici ambientali riportata nel capitolo precedente ha evidenziato uno stato di potenziale contaminazione dell'area caratterizzata.

Il mero superamento delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione per una o più sostanze contaminanti non comporta infatti l'automatica classificazione di un sito come contaminato ma impone una valutazione del rischio sito-specifico associato a tali sostanze.

Sulla base degli esiti dell'analisi di rischio sarà successivamente valutata l'eventuale necessità di intraprendere azioni di bonifica, messa in sicurezza o monitoraggio legata al rischio calcolato.

Nel presente capitolo saranno illustrati gli esiti della valutazione del rischio sito-specifico effettuata mediante l'utilizzo del software Risk-net 3.1.1.

6.2 SORGENTI DI CONTAMINAZIONE E PERCORSI DI ESPOSIZIONE

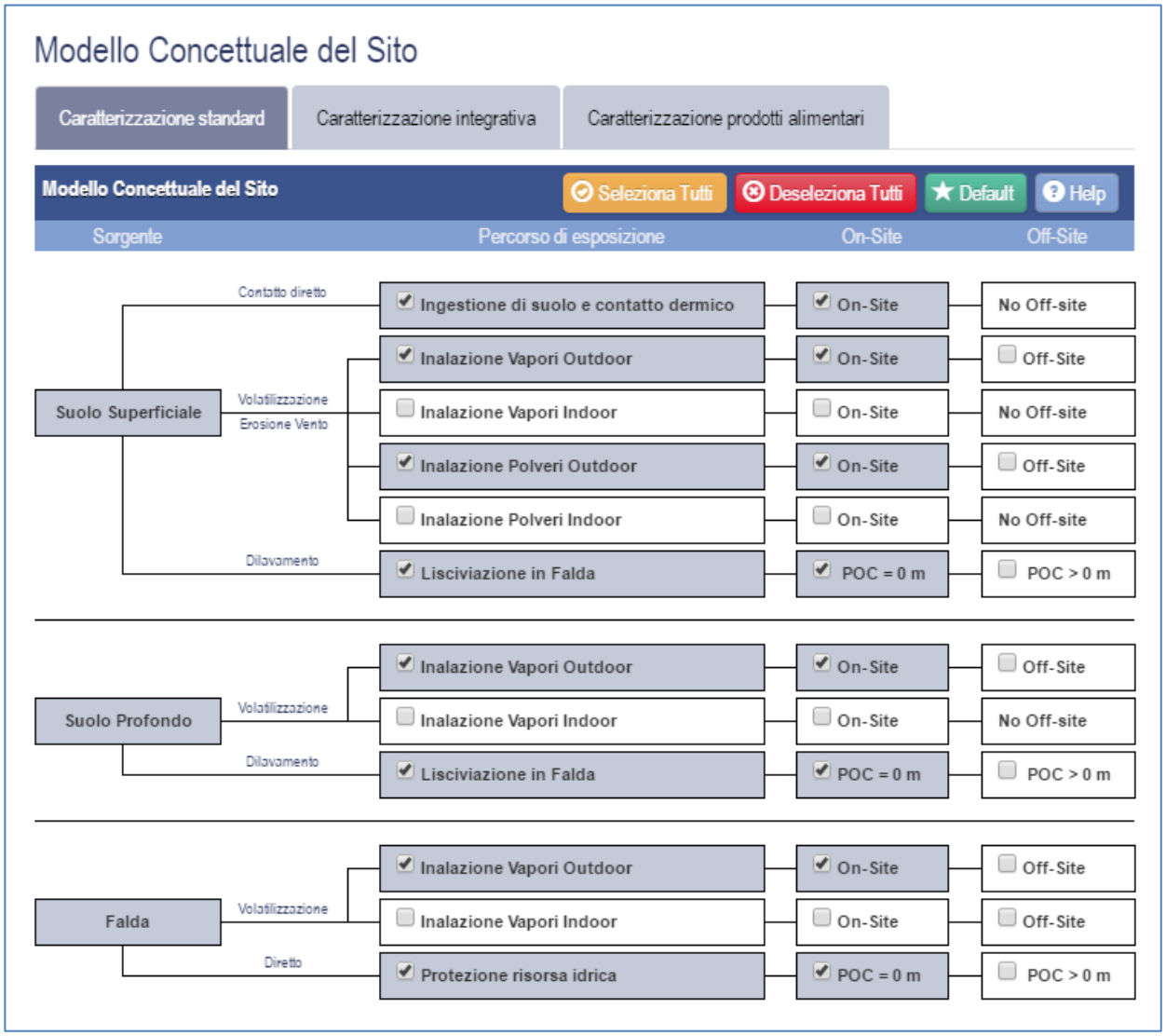
Sulla base degli esiti della caratterizzazione sono state individuate le seguenti sorgenti secondarie di contaminazione:

Tipologia di sorgente	Sostanze contaminanti	Estensione
Suolo superficiale	Nichel	Dominio del sondaggio BHV_21
Suolo profondo	Idrocarburi C>12	Dominio del sondaggio BHC_01
Falda	Metalli e inorganici	Estesa all'intera area

Per ogni sorgente individuata si è proceduto con la selezione dei percorsi di esposizione attivi, ovvero le vie di migrazione dei contaminanti attraverso le matrici ambientali in grado di generare un contatto, diretto o indiretto, con i recettori presenti nel sito.

Il modello concettuale del sito complessivo è riassunto nello schema seguente, estrapolato dal software Risk-net.

Per quanto concerne le tipologie di recettori sono stati presi in considerazione sia i lavoratori presenti nel sito sia la protezione della risorsa idrica, intesa come rispetto dei limiti tabellari (CSC) al punto di conformità che coincide con i limiti di proprietà (linea di costa).


Modello Concettuale del Sito
Caratterizzazione standard
Caratterizzazione integrativa
Caratterizzazione prodotti alimentari
Modello Concettuale del Sito
Seleziona Tutti
Deseleziona Tutti
Default
Help
Sorgente
Percorso di esposizione
On-Site
Off-Site
Suolo Superficiale
Contatto diretto
Ingestione di suolo e contatto dermico
On-Site
No Off-site
Volatilizzazione
Erosione Vento
Inalazione Vapori Outdoor
On-Site
Off-Site
Inalazione Vapori Indoor
On-Site
No Off-site
Inalazione Polveri Outdoor
On-Site
Off-Site
Inalazione Polveri Indoor
On-Site
No Off-site
Dilavamento
Lisciviazione in Falda
POC = 0 m
POC > 0 m
Suolo Profondo
Volatilizzazione
Inalazione Vapori Outdoor
On-Site
Off-Site
Inalazione Vapori Indoor
On-Site
No Off-site
Dilavamento
Lisciviazione in Falda
POC = 0 m
POC > 0 m
Falda
Volatilizzazione
Inalazione Vapori Outdoor
On-Site
Off-Site
Inalazione Vapori Indoor
On-Site
Off-Site
Diretto
Protezione risorsa idrica
POC = 0 m
POC > 0 m

6.3 PARAMETRI DEL SITO E CONCENTRAZIONI IN SORGENTE

La determinazione dei parametri sito-specifici è stata effettuata a partire dalla tessitura rappresentativa dei terreni saturi e insaturi che, in base alle analisi granulometriche effettuate ed allegate alla presente relazione, è risultata essere corrispondente alla classe “Sand” in entrambi i casi.

Le immagini seguenti riepilogano i parametri utilizzati per il calcolo del rischio sito-specifico.

Parametri del sito

Geometria Sorgenti | Zona Insatura | Zona Satura | Outdoor

Zona Insatura — Default | Copia tabella | Help

Descrizione			Valore		
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Tessitura della Zona Insatura					
Seleziona la tessitura rappresentativa del suolo insaturo			Sand		
Porosità efficace del terreno in zona insatura	θe	Letteratura	0.385	-	✓
Contenuto volumetrico di acqua nel suolo	θw	Letteratura	0.068	-	✓
Contenuto volumetrico di aria nel suolo	θa	Letteratura	0.317	-	✓
Contenuto volumetrico di acqua nella frangia capillare	θw,cap	Letteratura	0.33	-	✓
Contenuto volumetrico di aria nella frangia capillare	θa,cap	Letteratura	0.055	-	✓
Spessore della frangia capillare	hcap	Letteratura	0.1	m	✓
Carico idraulico critico (potenziale di matrice)	hcr	Letteratura	-0.0402	m	✓
Conducibilità idraulica del terreno nella zona insatura	Ksat,s	Letteratura	8.25e-5	m/s	✓
Battente idrico in superficie	Hw	0.25	0,25	m	✓
Lente a bassa permeabilità sopra la sorgente (volatilizzazione da suolo profondo e falda)			☐ Inserisci lente		
Caratteristiche della Zona Insatura					
Densità del suolo	ρs	1.7	1,7	g/cm³	✓
pH del suolo	pH	6.8	6,8	-	✓
Frazione di carbonio organico - suolo superficiale	foc,SS	0.01	0,01	g/g	✓
Frazione di carbonio organico - suolo profondo	foc,SP	0.01	0,01	g/g	✓
Frazione residua dei pori nel suolo (per calcolo Cres)	Sr	0.04	0,04	m	✓
Spessore della zona insatura	hv	Calcolato	5.900	m	✓
Infiltrazione nel sottosuolo					
Calcola l'infiltrazione efficace nel suolo			☑ Calcolato		
Piovosità media annua	P	129	129	cm/y	✓
Frazione areale di fratture outdoor	ηout	1	1	-	✓
Infiltrazione efficace nel suolo	Ief	Calcolato	29.95	cm/y	✓
Telo in HDPE o strato a bassa permeabilità tra la sorgente e la falda (lisciviazione da suolo in falda)			☐ Inserisci		

Parametri del sito

Geometria Sorgenti | Zona Insatura | Zona Satura | Outdoor

Zona Satura — Default | Copia tabella | Help

Descrizione			Valore		
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Tessitura della Zona Satura					
Seleziona la tessitura rappresentativa del suolo saturo			Sand		
Conducibilità idraulica del terreno saturo	Ksat	Letteratura	8.25e-5	m/s	✓
Porosità efficace del terreno in zona satura	θe,sat	Letteratura	0.385	-	✓
Caratteristiche della Zona Satura					
Spessore acquifero	da	2	10	m	✓
Gradiente idraulico	i	0.01	0,01	m/m	✓
Velocità di Darcy	vgw	Calcolato	8.25e-7	m/s	✓
Velocità media effettiva nella falda	ve	Calcolato	2.14e-6	-	✓
Frazione di carbonio organico - suolo saturo	foc,sat	0.001	0,001	g/g	✓
Frazione residua dei pori nel suolo saturo (per calcolo Cres)	Sr	0.04	0,04	m	✓
Trasporto e dispersione in falda					
Distanza punto di conformità in falda	POC	100	100	m	✓
Calcola automaticamente coefficienti di dispersione in falda			☑ Calcolato		
Dispersività longitudinale in falda	ax	Calcolato	10.00	m	✓
Dispersività trasversale in falda	ay	Calcolato	3.33	m	✓
Dispersività verticale in falda	az	Calcolato	0.50	m	✓

Per quanto concerne la concentrazione in sorgente dei contaminanti individuati, si è scelto in via cautelativa di inserire le concentrazioni massime rilevate sia per quanto riguarda i campioni di terreno che per quelli di acque sotterranee.

Concentrazioni Rappresentative della Sorgente

Terreno e Falda

Terreno e Falda — Copia tabella | Help

Contaminante	Suolo Superficiale		Suolo Profondo		Falda	
	Concentrazione nel terreno		Concentrazione nel terreno		Concentrazione in acqua	
		(mg/kg)		(mg/kg)		○ (mg/L) ◉ (µg/L)
Alluminio	✓		✓		✓	512
Ferro	✓		✓		✓	577
Nichel	✓	934	✓		✓	177
Manganese	✓		✓		✓	1078
Cromo VI	✓		✓		✓	10,8
Alifatici C19-C36	✓		✓	7051,6	✓	
Boro	✓		✓		✓	3434
Nitriti	✓		✓		✓	1300

6.4 CALCOLO DEL RISCHIO

Per ognuno dei contaminanti inseriti, sulla base dei percorsi di esposizione attivi, dei parametri sito-specifici e delle caratteristiche chimiche e tossicologiche dei contaminanti stessi, il software restituisce il rischio potenziale per i recettori presenti nel sito.

Il rischio viene suddiviso, in base ai potenziali effetti delle sostanze interessate, in Rischio Cancerogeno (R) e Indice di Pericolo o Hazard Index (HI). Viene inoltre calcolato il Rischio per la risorsa idrica (Rgw).

Il limite di accettabilità relativo al Rischio Cancerogeno è pari a 10^{-6} per la singola sostanza e a 10^{-5} per gli effetti cumulati di più sostanze mentre i valori dell'Indice di Pericolo e del Rischio per la risorsa idrica devono essere inferiori a 1. Nelle immagini seguenti, estrapolate dalle schermate del software Risk-net 3.1.1, sono riportati gli esiti del calcolo per ognuna delle vie di esposizione associate alle sorgenti individuate.

Per quanto riguarda la sorgente nel suolo superficiale, legata alla presenza di nichel, tutte le vie di esposizione per i recettori umani (lavoratori presenti nel sito) mostrano livelli di rischio ampiamente accettabili.

Dettaglio Rischi

Suolo Superficiale | Suolo Profondo | Falda

Dettaglio Rischi - Suolo Superficiale — Copia tabella — Help

Contaminante	CRS	f	CRS/f	Csat	On-Site Ingestione di suolo		On-Site Contatto Dermico		On-Site Vapori Outdoor		On-Site Polveri Outdoor		On-Site Cumulato outdoor		On-Site Lisciviazione
					R	HI	R	HI	R	HI	R	HI	R	HI	Rgw
	mg/kg		mg/kg	mg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alluminio			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ferro			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nichel	9.34e+2		9.34e+2	-	-	2.28e-2	-	3.02e-3	-	-	1.37e-10	1.63e-5	1.37e-10	2.59e-2	1.07e+1
Manganese			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cromo VI			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alifatici C19-C36			-	5.97e+0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Boro			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitriti			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rischio Cumulato					-	2.28e-2	-	3.02e-3	-	-	1.37e-10	1.63e-5	1.37e-10	2.59e-2	-

Si precisa inoltre che i percorsi di contatto diretto presi in considerazione, ovvero ingestione, contatto dermico ed inalazione, sono stati inseriti per via di un approccio altamente cautelativo. L'area in cui ricade il superamento di nichel risulta infatti interamente pavimentata, condizione che impedisce qualunque trasferimento di tipo diretto del contaminante.

Relativamente al rischio per la risorsa idrica potenzialmente generabile dalla lisciviazione del nichel dal suolo superficiale il valore calcolato supera il limite di accettabilità di un ordine di grandezza.

Sebbene il rischio legato alla lisciviazione sia un parametro spesso sovrastimato nei procedimenti di Analisi di Rischio, occorre precisare che la presenza di nichel nelle acque sotterranee nell'estremità Nord-Ovest della Centrale è stata ampiamente verificata dai vari monitoraggi effettuati nel corso degli anni.

In particolare, il piezometro della rete storica di monitoraggio BH222PZ, ubicato immediatamente a valle delle vasche ceneri, ha quasi sempre fatto registrare valori di nichel abbondantemente superiori alla rispettiva CSC.

Per la sorgente nel Suolo Profondo non sono stati individuati percorsi di esposizione attivi in quanto la classe idrocarburica degli “Alifatici C19-C36” non dà luogo a vapori in grado di raggiungere i recettori. Il Rischio per la risorsa idrica collegato al fenomeno di lisciviazione è invece risultato accettabile.

Dettaglio Rischi

Suolo Superficiale | Suolo Profondo | Falda

Dettaglio Rischi - Suolo Profondo — Copia tabella — Help

Contaminante	CRS	f	CRS/f	Csat	On-Site Vapori Outdoor R	On-Site Vapori Outdoor HI	On-Site Lisciviazione Rgw
	mg/kg		mg/kg	mg/kg	-	-	-
Alluminio			-	-	-	-	-
Ferro			-	-	-	-	-
Nichel			-	-	-	-	-
Manganese			-	-	-	-	-
Cromo VI			-	-	-	-	-
Alifatici C19-C36	7.05e+3		7.05e+3	5.97e+0	-	-	1.54e-7
Boro			-	-	-	-	-
Nitriti			-	-	-	-	-
Rischio Cumulato					-	-	-

Analogamente a quanto avvenuto per il Suolo Profondo, anche per la sorgente in Falda non sono state individuate vie di esposizione attive attraverso le quali i contaminanti possano raggiungere i recettori. Sia i metalli che gli inorganici rilevati in concentrazioni superiori ai limiti infatti non generano vapori e pertanto non costituiscono un rischio.

Dettaglio Rischi

Suolo Superficiale | Suolo Profondo | Falda

Dettaglio Rischi - Falda — Copia tabella — Help

Contaminante	CRS	f	CRS/f	Sol	On-Site Vapori Outdoor R	On-Site Vapori Outdoor HI	On-Site Protezione risorsa idrica Rgw
	µg/L		µg/L	µg/L	-	-	-
Alluminio	5.12e+2		5.12e+2	-	-	-	2.56e+0
Ferro	5.77e+2		5.77e+2	-	-	-	2.88e+0
Nichel	1.77e+2		1.77e+2	-	-	-	8.85e+0
Manganese	1.08e+3		1.08e+3	-	-	-	2.16e+1
Cromo VI	1.08e+1		1.08e+1	-	-	-	2.16e+0
Alifatici C19-C36	-		-	1.50e-3	-	-	-
Boro	3.43e+3		3.43e+3	-	-	-	3.43e+0
Nitriti	1.30e+3		1.30e+3	-	-	-	2.60e+0
Rischio Cumulato					-	-	-

Resta comunque valido il principio per il quale le acque sotterranee devono rispettare i limiti normativi al punto di conformità che, in questo caso, corrisponde con la linea costiera.

6.5 VALUTAZIONE DEGLI ESITI DELL'ANALISI DI RISCHIO

Sulla base di quanto riportato nel paragrafo precedente, pertanto, i superamenti dei limiti di legge riscontrati in fase di caratterizzazione possono essere considerati trascurabili dal punto di vista del rischio per i recettori presenti nel sito.

L'unico valore di rischio superiore ai limiti di accettabilità è infatti quello legato alla potenziale lisciviazione del nichel dal suolo superficiale alla falda, fenomeno con tutta probabilità sovrastimato in considerazione della reale disponibilità alla lisciviazione dei metalli che, come è lecito supporre per il caso in esame, sono presenti nei terreni in forme naturali e non legate ad attività di origine antropica.

Ad ogni modo, sia in considerazione della potenziale lisciviazione sia per quanto riguarda il rispetto delle CSC in falda al punto di conformità, occorre ricordare che lungo la linea di costa prospiciente le aree in oggetto è attivo il barrieramento idraulico realizzato nell'ambito della bonifica delle acque sotterranee della Centrale di Fiume Santo.

Per tali ragioni si ritiene che lo stato di potenziale contaminazione rilevato non richieda alcun ulteriore intervento di bonifica o messa in sicurezza operativa o permanente.