

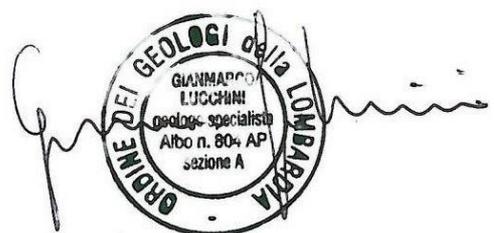


MINISTERO DELL'AMBIENTE  
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE

commissario straordinario  
**BRESCIA CAFFARO**

STABILIMENTO CAFFARO BRESCIA

# PROGETTO OPERATIVO DI BONIFICA E MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE



## Prepared for:

Commissario Straordinario Brescia Caffaro

## Prepared by:

AECOM URS Italia S.p.a.  
20143 - Via Giacomo Watt 27  
Milano  
Italia

T: +39 02 4225561  
aecom.com

## Revision History

Revision	Revision date	Details	Authorized	Name	Position
0	15/04/2019	Emissione	GL	GL	Project Director
1	05/12/2019	Revisione	GL	GL	Project Director

## Distribution List

Code Number	# Hard Copies	PDF Required	Association / Company Name
CIG 7590107271_MI_R5-REV-01	1	1	Commissario Straordinario Brescia Caffaro

© Giugno 22 2018 AECOM URS Italia S.p.a.. All Rights Reserved.

This document has been prepared by AECOM URS Italia S.p.a. ("AECOM") for sole use of our client (the "Client") in accordance with generally accepted consultancy principles, the budget for fees and the terms of reference agreed between AECOM and the Client. Any information provided by third parties and referred to herein has not been checked or verified by AECOM, unless otherwise expressly stated in the document. No third party may rely upon this document without the prior and express written agreement of AECOM.

## INDICE

	N° di Pag.
<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>8</b>
1.1. Premessa .....	8
1.2. Documentazione tecnica di riferimento .....	11
1.3. Normativa di riferimento .....	15
1.4. Organizzazione del documento .....	16
<b>2. INQUADRAMENTO GENERALE DEL SITO .....</b>	<b>18</b>
2.1. Mappatura e localizzazione .....	18
2.2. Anamnesi storica .....	18
2.3. Piano di Governo del Territorio (PGT) del Comune di Brescia .....	20
2.4. Sintesi del procedimento amministrativo di bonifica .....	24
2.4.1. Matrice ambientale Suolo/Sottosuolo .....	24
2.4.2. Matrice ambientale Acque di Falda .....	25
<b>3. CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE DEL SITO .....</b>	<b>26</b>
3.1. Sintesi delle indagini di caratterizzazione svolte e dei risultati conseguiti .....	26
3.1.1. Matrice ambientale Suolo/Sottosuolo .....	26
3.1.2. Matrice ambientale acque sotterranee .....	28
<b>4. RISULTATI DELLE INDAGINI PROPEDEUTICHE ALLA PROGETTAZIONE .....</b>	<b>42</b>
4.1. Indagini ambientali di suolo, sottosuolo e acque sotterranee .....	43
4.1.1. Indagine strumentale per la valutazione del rischio bellico .....	43
4.1.2. Prescavi .....	44
4.1.3. Soil Gas Survey .....	44
4.1.4. Sondaggi e Piezometri .....	44
4.1.5. Indagini Sismiche .....	45
4.1.6. Prove idrogeologiche in foro (Lefranc) .....	45
4.2. Campionamento ed analisi terreni .....	47
4.3. Test di cessione materiali di riporto .....	48
4.4. Campionamento ed analisi geotecniche .....	48
4.5. Campionamento gas interstiziali .....	48
4.6. Campionamento ed analisi acque di falda .....	49
4.7. Sintesi dei risultati .....	50
4.7.1. Risultati terreni .....	50
4.7.2. Risultati gas interstiziali .....	50
4.7.3. Risultati acque di falda .....	50
4.7.4. Interpretazione prove SPT in situ e prove geotecniche di laboratorio .....	64
<b>5. MODELLO CONCETTUALE DEL SITO .....</b>	<b>75</b>
5.1. Idrologia .....	75
5.2. Inquadramento geologico-idrogeologico .....	76
5.2.1. Inquadramento geologico di dettaglio .....	82
5.3. Sintesi del Modello Concettuale del sito .....	83
5.3.1. Sorgenti Primarie di contaminazione .....	83
5.3.2. Sorgenti Secondarie di Contaminazione .....	85
5.3.3. Vie di migrazione .....	93
5.3.4. Recettori .....	94
5.3.5. Percorsi d'esposizione .....	95

## INDICE

N° di Pag.

<b>6.</b>	<b>SINTESI DELL'ANALISI DI RISCHIO E OBIETTIVI DI BONIFICA .....</b>	<b>96</b>
6.1.	Metodologia .....	96
6.1.1.	Tutela della salute umana .....	96
6.1.2.	Tutela della risorsa idrica sotterranea .....	98
6.1.3.	Definizione degli obiettivi di bonifica in presenza di CSR<CSC .....	99
6.2.	Obiettivi di bonifica .....	99
6.2.1.	CSR acque di falda .....	99
6.2.2.	CSR terreno .....	103
<b>7.</b>	<b>TECNOLOGIE DI BONIFICA APPLICABILI AL SITO .....</b>	<b>109</b>
7.1.	Fattibilità delle soluzioni progettuali .....	109
7.2.	Analisi delle tecnologie di bonifica applicabili al sito .....	109
7.2.1.	Suolo e sottosuolo .....	109
7.2.2.	Acque sotterranee .....	122
7.3.	Analisi comparativa delle soluzioni progettuali .....	129
<b>8.</b>	<b>STRATEGIA DI INTERVENTO – SUOLO E SOTTOSUOLO .....</b>	<b>132</b>
8.1.	Strategia di intervento .....	132
8.2.	Terreni superficiali (orizzonte 0-6 m da p.c.) .....	134
8.3.	Terreni insaturi profondi (orizzonte 20-30m) .....	134
<b>9.</b>	<b>DESCRIZIONE DETTAGLIATA DELLA SOLUZIONE – INTERVENTI SUI TERRENI SUPERFICIALI .....</b>	<b>137</b>
9.1.	Interventi di bonifica mediante escavazione dei terreni superficiali .....	137
9.1.1.	Attività propedeutiche .....	138
9.1.2.	Analisi preliminare in banco dei terreni .....	138
9.1.3.	Procedura di campionamento in banco .....	139
9.1.4.	Protocollo analitico relativo ai campioni prelevati in banco .....	141
9.1.5.	Attività di scavo .....	144
9.1.6.	Gestione dei terreni scavati .....	145
9.1.7.	Flussi di terreno .....	146
9.1.8.	Aree di accumulo .....	147
9.2.	Pre-Trattamento dei terreni escavati .....	148
9.3.	Soil Washing .....	149
9.3.1.	Flussi ipotizzati .....	152
9.4.	Ritombamenti .....	152
9.5.	Interventi di Messa in Sicurezza Permanente del Sito .....	152
9.5.1.	Introduzione .....	152
9.5.2.	Documenti di riferimento .....	154
9.5.3.	Caratteristiche dei pacchetti di impermeabilizzazione .....	154
9.5.4.	Dimensionamento dei rilevati e ipotesi di sistemazione piano-altimetrica dell'area .....	160
9.5.5.	Rete di regimazione acque meteoriche .....	162
9.5.6.	Presidi di monitoraggio del sistema di MISP .....	171
9.5.7.	Aspetti geotecnici connessi con gli interventi di MISP .....	173
9.5.8.	Piano di sorveglianza e controllo post operativo .....	187
<b>10.</b>	<b>DESCRIZIONE DETTAGLIATA DELLA SOLUZIONE – INTERVENTI SUI TERRENI PROFONDI .....</b>	<b>189</b>

## INDICE

	N° di Pag.
10.1. Soil Replacement .....	189
10.2. In Situ Soil Stabilization.....	190
10.3. Interventi di bonifica in situ - Ossidazione chimica .....	192
10.3.1. Definizione del processo .....	193
10.3.2. Descrizione dell'intervento .....	194
10.4. Interventi di bonifica in situ - Soil Flushing.....	195
10.4.1. Definizione del processo .....	195
10.4.2. Descrizione dell'intervento .....	195
10.5. Interventi di bonifica in situ – Soil Vapour Extraction .....	196
<b>11. FASI ATTUATIVE .....</b>	<b>197</b>
11.1. Lotto "Via Milano" .....	198
11.1.1. Predisposizione area di stoccaggio.....	198
11.1.2. Escavazione e ritombamenti .....	200
11.1.3. Cumuli di materiale.....	200
11.1.4. La rete di drenaggio delle acque di piazzale.....	201
11.1.5. Gestione terreni.....	202
11.2. Lotto "Funzionale" .....	203
11.2.1. Attività preliminari .....	203
11.2.2. Escavazione e gestione terreni contaminati .....	203
11.2.3. Interventi sui terreni profondi.....	204
11.2.4. Messa in sicurezza permanente / Capping .....	204
11.3. Lotto "di completamento" .....	205
11.3.1. Attività preliminari .....	206
11.3.2. Escavazione e gestione terreni contaminati .....	206
11.3.3. Messa in sicurezza permanente / Capping .....	206
<b>12. DESCRIZIONE DETTAGLIATA DELLA SOLUZIONE – ACQUE SOTTERRANEE .....</b>	<b>209</b>
12.1. Strategia di intervento .....	209
12.1.1. Fase 1 – Ottimizzazione emungimenti .....	209
12.1.2. Fase 2 – Ottimizzazione del plume control, attivazione del source control .....	214
12.1.3. Fase 3 - Azioni di completamento della bonifica (source control) .....	216
12.1.4. Moduli di trattamento.....	217
12.1.5. Analisi integrative e prove di laboratorio .....	222
<b>13. ATTIVITA' PROPEDEUTICHE ALLA REALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI DI BONIFICA .....</b>	<b>223</b>
13.1. Indagini propedeutiche agli interventi di bonifica .....	223
13.1.1. Indagini integrative matrice terreni .....	224
13.1.2. Realizzazione piezometri .....	228
13.1.3. Monitoraggio acque di falda .....	229
13.1.4. Monitoraggio Soil Gas .....	229
13.1.5. Indagine Georadar .....	230
13.2. Test di trattabilità .....	231
13.3. Prove pilota .....	231
13.3.1. Test di Soil Washing .....	232
13.3.2. Test di In Situ Soil Stabilization.....	233
13.3.3. Test di In Situ Chemical Oxidation .....	233
13.3.4. Test di In Situ Soil Flushing.....	237
13.3.5. Test pilota di adsorbimento e chemical reduction (Trap&Treat) .....	239
13.3.6. Test di Soil Vapour Extraction.....	240

## INDICE

	N° di Pag.
<b>14. PIANO DI GESTIONE DELLE MATERIE .....</b>	<b>242</b>
<b>15. COMPATIBILITÀ AMBIENTALE DEGLI INTERVENTI PROPOSTI.....</b>	<b>244</b>
<b>16. PIANO DI MONITORAGGIO E COLLAUDI .....</b>	<b>258</b>
16.1. Monitoraggio delle polveri e della qualità dell'aria .....	258
16.1.1. Metodologie di rilievo .....	258
16.1.2. Monitoraggio del parametro COV .....	259
16.1.3. Monitoraggio dei parametri Mercurio Fitofarmaci e PCB .....	260
16.1.4. Monitoraggio polveri .....	261
16.2. Collaudo degli interventi.....	261
16.2.1. Collaudo degli scavi .....	261
16.2.2. Collaudo delle impermeabilizzazioni .....	263
16.3. Piano delle azioni di monitoraggio e controllo per la verifica nel corso del tempo degli interventi di bonifica.....	266
16.3.1. Monitoraggio delle acque di falda .....	266
<b>17. PROTEZIONE SALUTE, SICUREZZA E AMBIENTE .....</b>	<b>268</b>
<b>18. IMPIANTI E AUTORIZZAZIONI.....</b>	<b>271</b>
18.1. Impianto SVE .....	271
18.1.1. Layout del sistema SVE .....	271
18.1.2. Caratteristiche prestazionali impianto .....	272
18.1.3. Sezione di filtrazione .....	272
18.1.4. Monitoraggio SVE .....	273
18.2. Soil Washing .....	273
18.2.1. Descrizione del processo .....	273
18.2.2. Caratteristiche dell'impianto di lavaggio.....	275
18.2.3. Sezione di trattamento acque di lavaggio .....	276
18.2.4. Materiali in uscita dall'impianto di lavaggio .....	276
18.2.5. Piattaforma di alloggiamento impianto .....	277
18.3. Trattamento in sito dei materiali da demolizione.....	277
18.3.1. Impianti di trattamento.....	277
18.4. Impianti trattamento acque di falda .....	279
18.4.1. Fase 1 – Ottimizzazione portate e gestione sistemi esistenti .....	279
18.4.2. Fase 2 - Ottimizzazione plume control e avvio source control .....	280
18.4.3. Fase 3 – Installazione e gestione sistemi source control .....	282
18.4.4. Limiti allo scarico .....	284
18.5. Test e prove pilota.....	284
<b>19. PIANO TEMPORALE DEGLI INTERVENTI.....</b>	<b>285</b>
<b>20. STIMA DEI COSTI DI INTERVENTO .....</b>	<b>286</b>

## TAVOLE

Tavola 1 – Inquadramento Geografico

Tavola 2 – Planimetria del sito con ubicazione dei punti di indagine (dicembre 2018 – febbraio 2019)

Tavola 3 – Fasi attuative di bonifica e demolizione

- Tavola 4 – Interventi relativi ai terreni superficiali
- Tavola 5 – Interventi relativi ai terreni profondi
- Tavola 6a – Layout di cantiere Lotto Funzionale
- Tavola 6b – Layout di cantiere Lotto di Completamento
- Tavola 7a – Area accumulo A1
- Tavola 7b – Aree accumulo A2-G, A3-S, A4-F
- Tavola 7c – Aree accumulo A5, A6
- Tavola 8 – Tracciati profilo di scavo
- Tavola 9 – Intervento di MISP - Planimetria stato di fatto ed individuazione lotti di intervento
- Tavola 10 – Intervento di MISP – Planimetria stato di progetto
- Tavola 11 – Intervento di MISP – Sezioni tipo e particolari
- Tavola 12 – Intervento di MISP – Fasi di lavoro
- Tavola 13 – Intervento di MISP – Planimetria di progetto reti di regimazione acque meteoriche, condense e gas
- Tavola 14 – Intervento di MISP – Sezioni tipo e particolari reti di regimazione acque meteoriche, condense e gas
- Tavola 15 – Schema di processo impianto SVE
- Tavola 16 – Schema meccanico impianto ISCO
- Tavola 17 – Schema meccanico impianto Soil Flushing
- Tavola 18 – Ubicazione impianti di trattamento
- Tavola 19 – Schemi di processo applicabili - Moduli trattamento acque di falda
- Tavola 20 – Layout campi prova
- Tavola 21 – Indagini propedeutiche alla realizzazione degli interventi di bonifica
- Tavola 22 – Ipotesi stato futuro

## TABELLE FUORI TESTO

- Tabella 1 – Risultati indagini propedeutiche alla Progettazione Operativa – Test cessione
- Tabella 2 – Risultati indagini propedeutiche alla Progettazione Operativa – Terreni
- Tabella 3 – Risultati indagini propedeutiche alla Progettazione Operativa – Soil Gas
- Tabella 4 – Risultati indagini propedeutiche alla Progettazione Operativa – Acque

## ALLEGATI

Allegato 1 – Analisi di Rischio

Allegato 2 – Modello Idrogeologico

Allegato 3 – Tavola 10: Planimetria generale dell'area – Evoluzione storica insediamento produttivo Anni (1906-2004) – Tratta da “Analisi delle concentrazioni dei contaminanti presenti nel sottosuolo dello stabilimento Caffaro di Brescia e Modello Concettuale Definitivo dello Stabilimento” (NCE - Maggio 2006)

Rielaborazione della Planimetria B5-45 trasmessa agli enti da Caffaro Brescia S.r.l. per il rinnovo dell'AIA 2012 - Edifici/strutture dismessi e quelli ancora utilizzati presso lo Stabilimento Caffaro di Brescia

Allegato 4 – Tavola 2 - Ubicazione dei punti di indagine dei terreni. Campagne di indagine del terreno insaturo dal dicembre 2000 all'aprile 2005. – Tratta da “Analisi delle concentrazioni dei contaminanti presenti nel sottosuolo dello stabilimento Caffaro di Brescia e Modello Concettuale Definitivo dello Stabilimento” (NCE - Maggio 2006)

Tavole 9a-9n Rappresentazione e confronto tra sorgenti primarie e secondarie di contaminazione – Tratte da “Analisi delle concentrazioni dei contaminanti presenti nel sottosuolo dello stabilimento Caffaro di Brescia e Modello Concettuale Definitivo dello Stabilimento” (NCE – Maggio 2006)

Allegato 5 – Analisi strumentale a supporto della valutazione del rischio bellico residuo

Allegato 6 – Indagine di sismica superficiale combinata attiva per l'individuazione delle categorie di sottosuolo ai sensi del DM 17-01-2018

Allegato 7 – Stralcio Piano di Riqualificazione Oltre la Strada 2021

Allegato 8 – Indagini propedeutiche – Prove Lefranc

Allegato 9 – Indagini propedeutiche – Verbali ARPA campionamenti terreni

Allegato 10 – Comune di Brescia – Settore Trasformazione urbana e urban center “Caffaro – proposta di definizione delle aree a svincolo col. B”

Allegato 11 – Specifica tecnica test di trattabilità

Allegato 12 – Certificati analitici (supporto informatico)

Allegato 13 – Stratigrafie

Allegato 14 – Verbale della riunione della Conferenza di Servizi istruttoria convocata ai sensi dell'art. 14 comma 1, Legge 7 agosto 1990, e s.m.i., presso il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare in data 17 luglio 2019

Allegato 15 – Parere tecnico Progetto Operativo di Bonifica e Messa In Sicurezza Permanente ai sensi del D.Lgs. 3 aprile 2006, n.152 Commissario Straordinario “Sito d'Interesse Nazionale Brescia-Caffaro”, stabilimento “Caffaro”, Brescia, 23 settembre 2019, ARPA Brescia

Allegato 16 – Parere tecnico relativo al documento Commissario Straordinario Brescia Caffaro stabilimento Caffaro Brescia “Progetto Operativo di Bonifica e Messa In Sicurezza Permanente”, luglio 2019, ISPRA

Allegato 17 – Piano di gestione delle materie - Flussi di terreno

Allegato 18 – Piano di gestione delle materie – Flussi di materiali da demolizione

Allegato 19 – Metodo per espletamento della verifica di assoggettabilità a VIA ai sensi della DGR del 10/02/2010 n. 8/11317

## ANNESI

Annesso A – Cronoprogramma

Annesso B – Stima costi di intervento

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1. Premessa

Il presente documento, redatto da AECOM URS Italia S.p.A. (nel seguito AECOM) per conto del Commissario Straordinario SIN “Brescia – Caffaro” (nel seguito Committente o Commissario), costituisce l’aggiornamento del Progetto Operativo di Bonifica e di Messa in Sicurezza Permanente (nel seguito Progetto o POB) per lo “Stabilimento Caffaro Brescia”, di proprietà Caffaro Chimica S.r.l. in Amministrazione Straordinaria, ubicato nell’ambito del Sito di Interesse Nazionale “Brescia – Caffaro”, perimetrato con D.M. 24 febbraio 2003.

Il Progetto è stato redatto in conformità al Decreto Legislativo n. 152 del 3 Aprile 2006 (di seguito D.lgs. 152/06), Titolo V “Bonifica dei Siti Contaminati”.

La presente versione costituisce la revisione del Progetto trasmesso al MATTM dal Commissario Straordinario del SIN Brescia-Caffaro con nota prot. 212 del 12/06/2019 e recepisce le richieste di modifica, integrazione e chiarimento emerse a seguito della Conferenza di Servizi istruttoria tenutasi in data 17/07/2019 presso il Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, convocata ai sensi dell’art. 14, comma 1 Legge 7 agosto 1990 n°241 (Allegato 01) e del successivo Tavolo Tecnico del 01/10/2019.

Si riportano qui di seguito i principali documenti e pareri tecnici presi a riferimento per la redazione della presente revisione:

- *Verbale della riunione della Conferenza di Servizi istruttoria convocata ai sensi dell’art. 14 comma 1, legge 7 agosto 1990, e s.m.i., presso il Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare in data 17 luglio 2019*
- *Provincia di Brescia Settore Ambiente e Protezione Civile Ufficio Controllo e Tutela del Suolo prot. Cl. 9.11.4 GMT/am - Oggetto: Fas. 89/18 proc.15 – S.I.N. “Brescia – Caffaro” Documento “Stabilimento Caffaro Brescia – Progetto Operativo di Bonifica e Messa in Sicurezza Permanente” valutazioni di competenza successiva alla Conferenza di Servizi istruttoria del 17.07.2019. Richiesta integrazioni*
- *INAIL Dipartimento Innovazioni Tecnologiche e Sicurezza sugli Impianti Prodotti e Insediamenti Antropici – SIN “Brescia Caffaro” – “Stabilimento Caffaro Brescia - Progetto Operativo di Bonifica di Bonifica e Messa in Sicurezza Permanente” (Prot. Matm 11699/STA del 12.06.2019) trasmesso dal Commissario Delegato del S.I.N. – Richiesta parere tecnico per Conferenza dei Servizi Istruttoria ai sensi dell’art. 14, comma 1 della Legge 7 agosto 1990 n.241 s.m.i. prot. Matm 12751/STA del 25-06-2019*
- *ISPRA – Parere tecnico relativo al documento Commissario Straordinario Brescia Caffaro Stabilimento Caffaro di Brescia “Progetto Operativo di Bonifica e di Messa in Sicurezza Permanente” SIN Brescia Caffaro - Luglio 2019*
- *Arpa Lombardia - Parere tecnico Progetto Operativo di Bonifica di Bonifica e Messa in Sicurezza Permanente ai sensi del d.lgs 3 aprile 2006, n.152 Commissario Straordinario “Sito d’Interesse Nazionale Brescia-Caffaro”, Stabilimento “Caffaro”, Brescia, 23 settembre 2019*

Le attività di caratterizzazione ambientale del sito, effettuate ai sensi del D.M. 471/99, attraverso l'esecuzione di n. 4 campagne di indagine nel periodo 2000-2005, hanno evidenziato una contaminazione nel suolo e sottosuolo dello stabilimento, con conseguente attivazione dei procedimenti ambientali in corso.

Nel giugno 2018, la società AECOM ha redatto per conto del Commissario il "Progetto di fattibilità tecnica ed economica per: Lotto 1) Messa in sicurezza di emergenze e bonifica/messa in sicurezza permanente delle acque sotterranee presso lo stabilimento della Caffaro a Brescia – CIG 6804677519 e Lotto 2) Bonifica/messa in sicurezza permanente del suolo e del sottosuolo dello stabilimento della Caffaro a Brescia – CIG 6804685BB" (nel seguito Progetto di fattibilità).

Nel suddetto studio sono state individuate le soluzioni tecniche per la bonifica/messa in sicurezza permanente delle acque sotterranee, del suolo e del sottosuolo dello stabilimento della Caffaro a Brescia, i costi ad esse associati e il piano di indagini integrative (Remedial Investigations), finalizzate a meglio definire le fasi di progettazione degli interventi proposti e oggetto del presente documento.

Nell'ambito delle indagini integrative realizzate da AECOM nel periodo dicembre 2018 – febbraio 2019, sono stati ricercati i parametri sito specifici per l'Analisi di Rischio Sanitario e Ambientale sito specifica elaborata per la definizione delle Concentrazioni Soglia di Rischio (All. 1). L'analisi di rischio è stata svolta in modalità backward per la definizione delle Concentrazioni Soglia di Rischio quali obiettivi di bonifica dell'area. Le CSR sito-specifiche sono state determinate seguendo l'approccio delineato dai "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio assoluta ai siti contaminati", rev.2 marzo 2008. Le Concentrazioni Soglia di Rischio per il suolo insaturo superficiale, profondo e per le acque sotterranee sono state calcolate per la determinazione degli obiettivi di bonifica a protezione della salute umana e dell'ambiente.

Le CSR sito specifiche e quindi gli obiettivi di bonifica sono stati definiti in funzione della specifica destinazione d'uso futura (verde pubblico/residenziale e commerciale/industriale) delle aree all'interno dello stabilimento Caffaro (sezione 6.2.2).

Le CSR per alcuni composti indice nei terreni insaturi sono state poste pari alle CSC, e pertanto, l'analisi di rischio è stata applicata per le sole sostanze per le quali non si prevede il raggiungimento delle CSC. I risultati delle valutazioni condotte mostrano superamenti delle CSR calcolate per i terreni.

Per le acque sotterranee, dal confronto tra le CSR calcolate e le concentrazioni rilevate in falda, si evince come vi sia assenza di rischio sanitario da questa matrice ambientale, in quanto le concentrazioni massime rilevate negli ultimi due anni risultano sempre inferiori alle CSR. Come previsto dalla normativa vigente, le CSR a protezione dell'ambiente sono state poste pari alle CSC al confine del sito di valle idrogeologica dove sono ubicati alcuni dei piezometri che costituiscono la rete di monitoraggio del sito. Considerando che per alcuni parametri, le acque di falda presentano già in ingresso al sito concentrazioni superiori alle CSC, gli obiettivi di bonifica relativi a tali parametri non potranno essere inferiori alle concentrazioni rilevate a monte o comunque in ingresso al sito. La verifica diretta della qualità delle acque ha consentito di rilevare i parametri per cui, al confine di valle idrogeologica, si confermano superamenti delle CSC o delle concentrazioni in ingresso al sito (paragrafo 6.2).

La strategia di bonifica e di messa in sicurezza permanente individuata per il sito Caffaro, descritta nelle sezioni successive, è stata progettata considerando il processo di risanamento dei terreni di primaria importanza per la bonifica delle acque di falda e prevede uno sviluppo per lotti e fasi attuative, la cui successione è stata definita in base alle priorità di intervento, al piano di risviluppo previsto per l'area attualmente occupata dallo Stabilimento Caffaro ed alle disponibilità finanziarie.

Gli interventi di bonifica saranno pertanto articolati secondo la seguente cronologia:

- ✓ **“Lotto Via Milano”**, relativo alla porzione interessata dal Progetto di riqualificazione denominato “Oltre la strada. via Milano 2021”, per cui è prevista la creazione di uno spazio pubblico di fruizione e di sosta, complementare al più esteso progetto di riqualificazione dell'asse stradale (“Programma straordinario di intervento per la riqualificazione urbana e la sicurezza delle periferie”, tavole in All. 7).
- ✓ **“Lotto Funzionale”**, definito in base alla presenza maggiormente diffusa delle sorgenti secondarie nei terreni superficiali e profondi; occupa prevalentemente la porzione occidentale e settentrionale del sito.
- ✓ **“Lotto di completamento”**, che costituisce la restante area dello Stabilimento, su cui si interverrà al termine degli interventi previsti nell'ambito del Lotto Funzionale; occupa la parte orientale del sito

Ogni fase di bonifica sarà preceduta dalla redazione di un progetto esecutivo completo di relativo programma dettagliato.

La suddivisione dei Lotti di intervento è riportata in Tav. 3, la sequenza di intervento e la successione delle diverse fasi attuative è descritta al Capitolo 11.

Relativamente alle acque sotterranee, la strategia di bonifica è strettamente connessa alle fasi di risanamento dei terreni, che consentiranno la graduale e progressiva diminuzione degli apporti interni al sito ed il miglioramento della qualità delle acque sotterranee.

Pertanto, la strategia di bonifica per tale matrice ambientale prevede un approccio per fasi:

Una **Fase 1**, di prosecuzione dell'attuale messa in sicurezza con ottimizzazione delle portate di emungimento, sulla base dei risultati del modello idrogeologico implementato da AECOM (All. 2). Le acque emunte continueranno ad essere inviate all'impianto di trattamento esistente (paragrafo 12.1.1.2).

Nel corso della bonifica dei terreni, si passerà ad una **Fase 2** con una progressiva razionalizzazione delle attuali configurazioni di contenimento, sempre del tipo “plume control”, ovvero azioni indirizzate ad evitare la migrazione verso l'esterno dei pennacchi di contaminazione che hanno origine all'interno del sito. In questa fase si introdurranno gradualmente azioni mirate alle zone dell'acquifero ove risiede la maggior parte della massa di contaminazione residua (azioni di “source control”).

Una volta ridotte o eliminate le sorgenti secondarie nei terreni si proseguirà con una **Fase 3**, che prevede solo emungimenti localizzati in corrispondenza delle zone di acquifero con eventuale massa residua di contaminanti (azioni di “source control”).

Le acque emunte attraverso i sistemi di “*source control*” saranno inviate a impianti di trattamento dedicati per la rimozione degli inquinanti tipici del sito (paragrafo 12.1.4).

Per progettare gli interventi e le azioni necessarie sulla matrice acque di falda, ci si è avvalsi del modello matematico di flusso dell’acquifero del sito. Il modello implementato da AECOM, deriva dal modello idrogeologico del Sito d’Interesse Nazionale (SIN) “Brescia Caffaro” sviluppato dal Dipartimento di Brescia dell’Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente (di seguito ARPA Brescia) della Lombardia, che ha fornito ad AECOM copia dei file eseguibili, in un’ottica di mutua collaborazione finalizzata al raggiungimento di una interpretazione condivisa dell’idrogeologia del sito.

Il modello acquisito da ARPA Brescia è stato quindi aggiornato e dettagliato da AECOM nell’area del sito di Caffaro ed è stato utilizzato per simulare gli effetti e dimensionare le diverse azioni necessarie all’ottimizzazione dell’attuale messa in sicurezza e al completamento della bonifica delle acque sotterranee del sito.

Maggiori dettagli sul processo di aggiornamento e utilizzo del modello sono forniti nell’All. 2 ; nella sezione 12 sono comunque riportati i risultati delle simulazioni effettuate ed il dimensionamento dei sistemi nel corso delle diverse fasi di bonifica.

## 1.2. Documentazione tecnica di riferimento

I documenti di riferimento utilizzati per la redazione del Progetto sono di seguito elencati:

- “Progetto di fattibilità tecnica ed economica per: Lotto 1) Messa in sicurezza di emergenze e bonifica/messa in sicurezza permanente delle acque sotterranee presso lo stabilimento della Caffaro a Brescia – CIG 6804677519 - Lotto 2) Bonifica/messa in sicurezza permanente del suolo e del sottosuolo dello stabilimento della Caffaro a Brescia – CIG 6804685BB1” AECOM URS Italia S.p.A, Giugno 2018;
- Relazione di sintesi delle conoscenze del sito “Stabilimento Caffaro” (redatto a seguito dell’analisi della documentazione disponibile) – Revisione del 31.08.2016”
- “Studio di fattibilità degli interventi di messa in sicurezza e bonifica delle acque di falda” redatto da Sogesid nel settembre 2015
- Valutazione dell’efficacia dello sbarramento idraulico della falda presso il sito Caffaro Brescia.”, Environ, Ottobre 2014
- “Analisi della concentrazione delle sostanze contaminanti presenti nel sottosuolo dello stabilimento Caffaro di Brescia e Modello Concettuale Definitivo dello stabilimento” redatto da NCE S.r.l. nel Maggio 2006
- “Analisi di Rischio Sanitario Ambientale Stabilimento Caffaro Brescia” redatto dal Dott. Carlo Monti nel Maggio 2006
- “Indagine Geognostica, Geotecnica, Idrogeologica Integrativa presso il Sito Industriale di Brescia” – Geotecnica Veneta S.r.l. – Gennaio 2002

Sono inoltre stati consultati, ove necessario per una migliore definizione di aspetti puntuali, i seguenti documenti, elencati con i numeri identificativi definiti dal Committente:

- 01-471 Piano caratterizzazione-Giugno 2000
- 02-471 Piano caratterizzazione - Luglio 2001
- 03-471 Piano della Caratterizzazione e documentazione propedeutica al Progetto Preliminare Settembre 2001
  - Lettera trasmissione
  - Tavola A – individuazione delle superfici
  - Tavola B – ubicazione delle prospezioni integrative
- 04-471 Progetto Preliminare - Analisi livelli inquinamento - Aprile 2002
- 05-471 Piano Caratterizzazione. Progetto preliminare di bonifica - Aprile 2002
- 06-471 Progetto preliminare investigazione e dettaglio ed interventi in fase provvisoria e di emergenza. Maggio 2002
- 07-471 Progetto preliminare analisi livelli inquinamento integrazioni.Giugno 2003
- 08-471 Documenti vari – Protocollo 25-03-Giugno 2003
  - Lettera di trasmissione
  - Osservazioni alla nota di ARPA
  - Presentazione sito
  - Trattamento acque di falda
  - Verifica a ripristino rete fognaria
- 09-471 Piano caratterizzazione procedimento interno di bonifica - Marzo 2003
- 10-471 Prelievi e analisi acque di falda - prot. 13-03-Aprile 2003
- 11-471 Piano della caratterizzazione iter 2000-2002-maggio 2003
- 12-471 Proposta indagini integrative - Luglio 2003
- 12bis-471 Integrazioni luglio 2003
- 13-471 Collocazione piezometri esterni - prot.57 – 03 - Settembre 2003
- 14-471 Progetto preliminare trattamento acque - Novembre 2003
- 15-471 Stato avanzamento campagna 2003 - prot. 64-03 - Novembre 2003
  - Lettera stato di avanzamento attività
  - Planimetria sondaggi integrativi
  - Ipotesi di intervento
  - Verbale di sopralluogo
- 16-471 Stato avanzamento stabilimento - prot. 43 del 04-Maggio 2004
- 17-471 I° stato avanzamento Progetto primo modulo - maggio 2004
- 18-471 Conferenza servizi 24-05-04-prot. 51-04-Giugno 2004
- 19-471 Relazione idrogeologica monitoraggio 09 – 04 - prot.71-04 - Ottobre 2004

- 20- 471 Comunicazione sondaggi supplementari-Novembre 2004
- 21- 471 Piano integrativo aree Nord e Ovest – Dicembre 2004
- 22 - 471 II° Stato Avanzamento Progetto primo modulo - dicembre 2004
- 23-471 Doc prep.CdS 20-12-04-prot. 111-04-Dic.04
- 24-471 Documento preparatorio Conferenza dei Servizi istruttoria del 04-05-05 - prot. 45-05-Maggio 2005
- 25-471 III° Stato di avanzamento Progetto primo modulo-Maggio 2005
- 26-471 Analisi di rischio-Luglio 2004
- 27-471 Monitoraggi
  - Anno 2002
  - Anno 2003
  - Anno 2004
  - Anno 2005
- 28-471 Analisi Rischio sanitario matrice suolo stabilimento Caffaro Luglio 2005
- 29-471 Caratterizzazione luglio 2005 – 1° parte
- 30-471 Caratterizzazione luglio 2005 – 2° parte
- 30 bis-471 Identificazione delle sorgenti di emissione di PCDD e PCDF (Laboratorio Battelle)
- 31-471 Piano caratterizzazione area Nord-Ovest - Gennaio 2006
- 32-471 Monitoraggio pozzi-piezometri Novembre-Dicembre 05
- Documentazione inviata 12 maggio 2006
  - Analisi livelli contaminazione e MCS definitivo\_Maggio 2006
  - Analisi Rischio Stabilimento Caffaro\_Maggio 2006
  - Progetto Messa in Sicurezza Operativa falda\_Maggio 2006
- 34- 471 Rapporto di monitoraggio piezometri e pozzi - Gennaio Febbraio Marzo 2006
- 35- 471 Rapporto di monitoraggio piezometri e pozzi - Aprile Maggio Giugno 2006
- 36-471 Rapporto monitoraggio acque di falda - Luglio Agosto Settembre 2006
- 37-471 Rapporto monitoraggio acque di falda Ottobre 2006 - Gennaio 2007
- 38-471 Rapporto monitoraggio acque di falda Febbraio – Marzo 2007
- 38bis-471 Rapporto monitoraggio acque di falda Aprile - Giugno 2007
- 39-471 Analisi di Rischio ambientale sito specifica
  - Stabilimento Caffaro
  - Area esterna allo stabilimento Caffaro

- 40-471 Rapporto di monitoraggio piezometri e pozzi - Luglio Agosto Settembre Ottobre Novembre 2007
- 41-471 Rapporto di monitoraggio piezometri e pozzi Dicembre 2007 – Marzo 2008
- 42-471 Rapporto di monitoraggio piezometri e pozzi Aprile 2008 – Giugno 2008
- 43-471 Risultati delle analisi effettuate sui piezometri di controllo esterni all'area Caffaro nel Novembre 2008
- 44-471 Risultati delle campagne di monitoraggio Luglio, Agosto, Settembre, Novembre 2008
- 45-471 Risultati delle campagne di monitoraggio di Gennaio - Marzo 2009
- 46-471 Risultati delle campagne di monitoraggio Aprile – Maggio 2009
- 47-471 Risultati delle campagne di monitoraggio Novembre – Dicembre 2009
- 48-471 Risultati delle campagne di monitoraggio Gennaio – Marzo 2010
- 49-471 Risultati delle campagne di monitoraggio Aprile – Luglio 2010
- 50-471 Risultati delle campagne di monitoraggio Agosto – Dicembre 2010
- 51-471 Risultati delle campagne di monitoraggio Gennaio – Aprile 2011
- 52-471 Risultati delle campagne di monitoraggio Maggio – Luglio 2011
- 53-471 Risultati delle campagne di monitoraggio Settembre – Dicembre 2011
- 54-471 Risultati delle campagne di monitoraggio Gennaio – Maggio 2012
- 55-471 Risultati delle campagne di monitoraggio Giugno – Novembre 2012
- 56-471 Risultati delle campagne di monitoraggio Dicembre 2012 – Marzo 2013
- 57-471 Risultati delle campagne di monitoraggio Aprile – Agosto 2013
- 58-471 Risultati delle campagne di monitoraggio Settembre – Dicembre 2013
- 58BIS-471 Risultati delle campagne di monitoraggio Gennaio – Aprile 2014
- 59-471 Risultati delle campagne di monitoraggio Maggio – Agosto 2014
- 60-471 Risultati delle campagne di monitoraggio Settembre – Dicembre 2014
- 61-Documentazione relativa all'AIA dello stabilimento Caffaro
  - Rinnovo autorizzazione scarico in CIS – Gennaio 2007
  - Relazione ARPA verifica ispettiva – Giugno 2007
  - Autorizzazione Integrata Ambientale del 2007 – Settembre 2007
  - AIA volturata del 2012
  - Relazione finale ARPA visita ispettiva – Febbraio 2013
  - Relazione finale ARPA visita ispettiva – Settembre 2015

- 62-Valutazione efficacia dello sbarramento idraulico della falda presso il sito Caffaro Brescia – Ottobre 2014
- 63-Studio di fattibilità per la realizzazione degli interventi di Messa in Sicurezza e bonifica delle acque di falda del “SIN Brescia Caffaro” – Settembre 2015
- 64-Risultati monitoraggio acque sotterranee indagine geochimica e piezometrica gennaio 2015 - redatta da ARPA Lombardia – Gennaio 2016
- 65-Studio plumes della Provincia di Brescia – Marzo 2016
- 66-Monitoraggio falda – Anno 2015
- 67-“Proposta di Intervento di Bonifica e Riqualficazione dei Terreni del Sito Caffaro di Brescia” di SORIN Group e ERM del 19.01.2015

### 1.3. Normativa di riferimento

Nella formulazione del Progetto è stato fatto diretto riferimento alla normativa vigente in campo ambientale, in particolare:

- D.M. 24 febbraio 2003 “Perimetrazione del sito di interesse nazionale di Brescia Caffaro” (GU Serie Generale n.121 del 27-05-2003 - Suppl. Ordinario n. 83).
- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 “Norme in materia ambientale” e successive modifiche e integrazioni;
- Decreto Legislativo 16 gennaio 2008, n. 4 “Ulteriori disposizioni correttive ed integrative del D.lgs. 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale” e successive modifiche e integrazioni;
- “Criteri metodologici per l’applicazione dell’analisi assoluta di rischio ai siti contaminati” – Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per Servizi Tecnici – APAT, rev. 2, 2008;
- Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 “Attuazione dell’articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro” e successive modifiche e integrazioni;
- Decreto Legislativo 3 agosto 2009 n. 106 “Disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 9 aprile 2008 n. 81 in materia di tutela della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro” (D.lgs. 81/08 e s.m.i. );
- Decreto Legislativo 28 giugno 2010, n. 128 “Modifiche ed integrazioni al decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale, a norma dell’articolo 12 della legge 18 giugno 2009, n. 69” e successive modifiche e integrazioni.
- D.P.R. del 13 giugno 2017, n. 120 “Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell’articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164” (G.U. n. 183 del 7 agosto 2017);
- Norme Tecniche Nazionali (UNI) ed Europee (EN).

## 1.4. Organizzazione del documento

Il presente POB risulta articolato nei seguenti capitoli:

- **Capitolo 1 – Introduzione.** Descrive lo scopo del documento, l'approccio alla bonifica, i documenti e la normativa di riferimento e l'organizzazione del documento.
- **Capitolo 2 – Inquadramento generale del sito.** Descrive il sito sintetizzandone l'ubicazione, la cronistoria e le attività svolte inerenti l'iter amministrativo.
- **Capitolo 3 – Caratterizzazione ambientale del sito.** Fornisce una sintesi delle indagini di caratterizzazione ambientale svolte nel sito e dei risultati conseguiti.
- **Capitolo 4 – Indagini propedeutiche alla progettazione.** Fornisce una descrizione delle indagini integrative svolte in sito finalizzate a meglio definire le fasi di progettazione operativa oggetto del presente documento.
- **Capitolo 5 – Modello concettuale del sito.** Fornisce il quadro generale delle caratteristiche e condizioni del sito deducibile sulla base delle indagini condotte dal 2000 fino ad oggi.
- **Capitolo 6 – Sintesi dell'Analisi di Rischio e Obiettivi di Bonifica.** Descrive le modalità esecutive e gli esiti dell'Analisi di Rischio sito specifica. Illustra gli obiettivi di bonifica definiti per le acque di falda e per i terreni, sulla base dell'CSR calcolate e della destinazione d'uso futura delle aree.
- **Capitolo 7 – Tecnologie di bonifica applicabili al sito.** Descrive le tecnologie applicabili per la bonifica delle matrici ambientali (acque sotterranee/suolo e sottosuolo) pertinenti al sito.
- **Capitolo 8 – Strategia di intervento – suolo e sottosuolo.** Introduce gli elementi progettuali e le tecnologie proposte per la bonifica delle matrici ambientali suoli insaturi pertinenti al sito.
- **Capitolo 9 – Descrizione dettagliata della soluzione – interventi su terreni superficiali.** Fornisce una descrizione tecnica degli interventi di bonifica relativi ad i suoli superficiali, quali: escavazione dei terreni, trattamento con impianto Soil Washing dei suoli e messa in sicurezza permanente mediante capping.
- **Capitolo 10 – Descrizione dettagliata della soluzione – interventi su terreni profondi.** Descrive le modalità esecutive relative alle tecnologie di bonifica per terreni profondi individuate per il sito in questione.
- **Capitolo 11 – Fasi attuative.** E' descritta la suddivisione in Lotti di bonifica relativamente ai suoli insaturi e le fasi attuative che si prevede realizzare per la bonifica del sito.
- **Capitolo 12 – Descrizione dettagliata della soluzione – acque sotterranee.** Descrive gli elementi progettuali e le tecnologie proposte per la bonifica delle matrici ambientali acque sotterranee pertinenti al sito.
- **Capitolo 13 – Attività propedeutiche alla realizzazione degli interventi di bonifica.** Vengono descritte gli ulteriori studi, attività integrative e campi prova per valutare la fase di realizzazione degli interventi di bonifica.

- **Capitolo 14 – Piano di gestione delle materie.** Descrive il piano di gestione dei materiali prodotti durante gli interventi di bonifica descritti nel presente documento.
- **Capitolo 15 – Compatibilità ambientale degli interventi proposti.** Illustra una lista dei principali impatti sulle matrici ambientali, paesaggistiche e antropiche determinati dall'esecuzione del Progetto. Si identificano, altresì, le relative misure di mitigazione.
- **Capitolo 16 – Piano di monitoraggio e collaudi.** Descrive il piano di monitoraggio ambientale (polveri, qualità dell'aria e clima acustico) da eseguirsi durante le attività di bonifica, i collaudi degli interventi proposti e il piano delle azioni di monitoraggio e controllo per la verifica nel corso del tempo degli interventi di bonifica.
- **Capitolo 17 – Protezione salute, sicurezza e ambiente.** Raccoglie le prime indicazioni di massima per poter redigere il PSC dei lavori oggetto del presente POB.
- **Capitolo 18 – Impianti e autorizzazioni.** Illustra le principali caratteristiche tecniche degli impianti che si prevede di adottare ai fini della bonifica del sito, con particolare riferimento alle autorizzazioni necessarie per il relativo funzionamento.
- **Capitolo 19 – Piano temporale degli interventi.** Presenta la durata attesa per la realizzazione degli interventi proposti.
- **Capitolo 20 – Stima dei costi di intervento.** Fornisce una stima dei costi per la realizzazione degli interventi.

## 2. INQUADRAMENTO GENERALE DEL SITO

### 2.1. Mappatura e localizzazione

Lo stabilimento Caffaro di Brescia ha un'estensione di circa 116.000 mq ed è ubicato nel contesto urbano della città di Brescia, delimitato a Nord da Via Milano, a Sud dalla via Emilio Morosini, a ovest da Via Villa Glori e ad Est da Via Francesco Nullo.

Dal marzo 2011, con atto di compravendita n. 1453 del 07.03.2011, la proprietà del sito risulta così suddivisa:

- la società Caffaro Chimica S.r.l. in Amministrazione straordinaria è la proprietaria del sito e degli impianti non più in attività, nonché il soggetto individuato come responsabile della contaminazione del sito e titolare del procedimento di bonifica in atto
- la società Caffaro Brescia S.p.A. (ora Caffaro Brescia S.r.l.) è la proprietaria degli impianti produttivi in attività e presenti nello stabilimento, la quale con il contratto stipulato si è impegnata a *“proseguire senza soluzione di continuità ed a mantenere in efficienza le opere e gli interventi di messa in sicurezza di emergenza relativa all'attività di emungimento ...”*



Figura 1: Stabilimento Caffaro di Brescia (Fonte: Immagine 1 della “Relazione di sintesi – Revisione del 31.08.2016”)

### 2.2. Anamnesi storica

Lo stabilimento Caffaro di Brescia ha iniziato la sua attività nel 1906, con la costituzione della "Società Elettrica ed Electrochimica del Caffaro Società Anonima". A partire dalla sua fondazione fino ad oggi all'interno dello stabilimento è stata attiva la produzione di prodotti chimici, fitofarmaci, pesticidi e PCB.

Una sintesi delle attività storiche condotte nel sito è riportata nella tabella successiva:

**Tabella 1: Impianti storicamente attivi presso lo stabilimento di Caffaro (Fonte: Tabella 1 della “Relazione di sintesi – Revisione del 31.08.2016”)**

TIPOLOGIA IMPIANTO	PERIODO DI FUNZIONAMENTO	MATERIE PRIME
Impianti clorosoda	1906 – 1997	Cloruro di sodio, Mercurio, Grafite (fino agli anni 60'), Acido solforico
Impianto chimica inorganica: <u>produzione di ossicloruri di rame</u>	1912 – 1978	Cloruro rameico, Carbonato di calcio, Calce viva, acido cloridrico, Rame metallo
Impianto chimica inorganica: <u>produzione di acido arsenico ed arseniati</u>	1920 – 1976	Anidride arseniosa, Acido nitrico, Ossido di piombo, Carbonato sodico
Impianto chimica inorganica: <u>produzione di sublimato corrosivo (cloruro mercurio)</u>	1924 – 1965	Mercurio, cloro
Impianto chimica inorganica: <u>produzione di perborato di sodio</u>	1968 – 1999	Borace pentaidrato, Soda caustica, Acqua ossigenata
Impianto chimica organica: <u>produzione di Chlorothalonil</u>	1982 – 2008	Isoftalonitrile, Cloro gas, Carbone attivo
Impianto chimica inorganica: <u>produzione di clorato di sodio</u>	1964 – <b>ad oggi</b>	Cloruro di sodio, Soda caustica, Acido cloridrico
Impianto chimica inorganica: <u>produzione di clorito di sodio</u>	1964 – <b>ad oggi</b>	Clorato di sodio, Soda caustica, Acqua ossigenata, Acido cloridrico, Bisolfito di sodio
Impianto chimica organica: <u>produzione di PCB e simili</u>	1936 – 1984	Benzene, Cloro gas, Triclorobenzoli, Catalizzatori (cloruro ferrico e SbCl <sub>5</sub> ), Calce, Potassa metanolica, Soda caustica
Impianto chimica organica: <u>produzione di polimeri clorurati</u>	1936 – 2002	Gomma naturale – polimeri, Cloro gas, Tetracloruro di carbonio, Cloroformio, Perossido di benzoline
Impianto chimica organica: <u>DDT</u>	1950 – 1956	Clorobenzolo, Cloralio, Acido solforico, benzina

Le principali materie prime utilizzate in sito sono di seguito riassunte:

**Tabella 2: Principali materie prime utilizzate nel tempo nello stabilimento (Fonte: Immagine 2 della “Relazione di sintesi – Revisione del 31.08.2016”)**

MATERIA PRIMA	PERIODO DI UTILIZZO
Hg	1906 – 1997
Cu	1912 – 1978
As	1920 – 1976
Pb	1920 – 1976
PCDF (impurezze)	1938 – 1984
PCB	1938 – 1984
CCl <sub>4</sub>	1936 – 2002

Gli impianti attualmente in attività sono quelli relativi alla produzione di Clorito di sodio e Clorato di sodio.

Nelle figure riportate in All. 3, tratte dalla “Relazione di sintesi – Revisione del 31.08.2016”, sono rispettivamente rappresentate le attività storiche del sito e gli edifici/le strutture dismessi e quelli ancora utilizzati.

### 2.3. Piano di Governo del Territorio (PGT) del Comune di Brescia

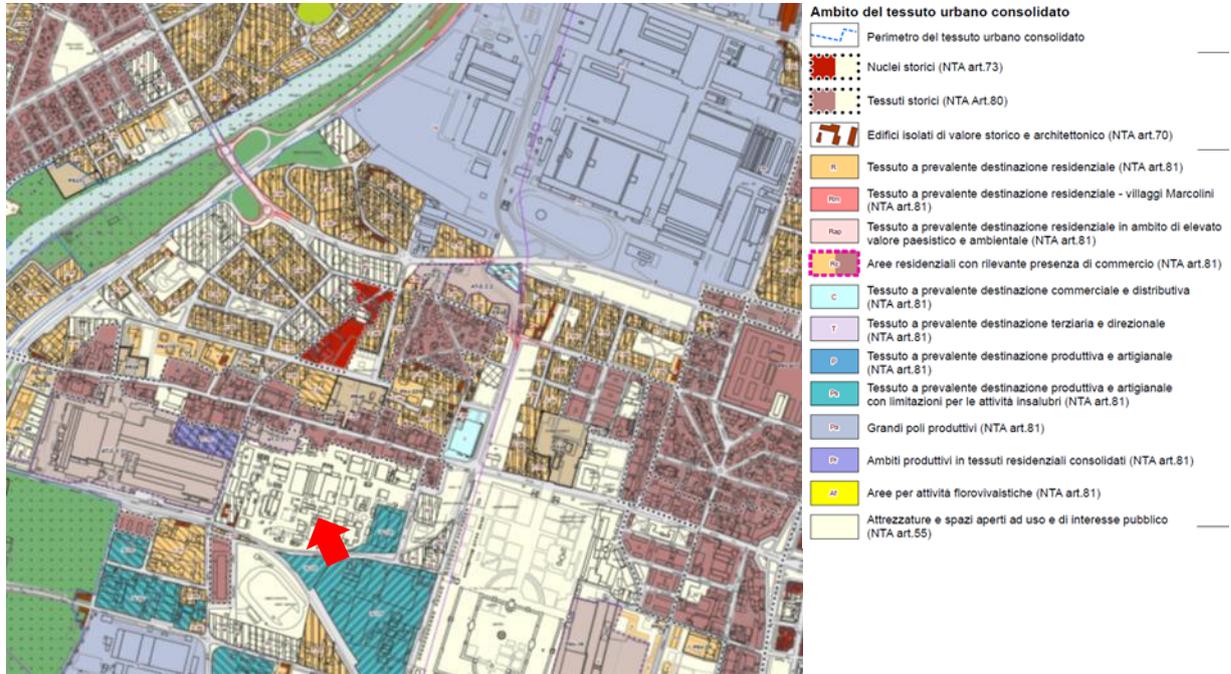
Dal punto di vista amministrativo il sito è interamente compreso nel territorio del comune di Brescia, la cui Variante generale al Piano di Governo del Territorio (PGT) ha avuto avvio con deliberazione della Giunta Comunale del 08/10/2013 n. 442/104853 P.G. ed è stata adottata con deliberazione di Consiglio Comunale n. 128 Pg 106789 del 28.07.2015 ai sensi dell'art 13 della LR 12/05 e s.m.i.<sup>1</sup>

In accordo con quanto riportato nella Tavola V-PR02 Azioni di Piano del PGT (Figura 2), il Sito è identificato come “Attrezzature e spazi aperti ad uso e di interesse pubblico” normata dall'Art.55 delle Norme Tecniche di Attuazione.

Per il sito Caffaro il Piano individua come obiettivo “[...] creazione di nuove aree boscate quale esito dell'attuazione di AT e di Progetti Speciali, il progetto di formazione di un bosco planiziale nel sito

<sup>1</sup> La stessa è stata: approvata, con controdeduzioni alle osservazioni, con deliberazione di Consiglio Comunale n. 17 del 09.02.2016. Con determinazione dirigenziale n. 1350 del 30.05.2016, si è dato atto degli atti modificati a seguito dell'approvazione in Consiglio Comunale. L'avviso di definitiva approvazione è stato pubblicato sul BURL, serie Avvisi e concorsi, n. 24 del 15/6/2016. Da tale data cessa il periodo di salvaguardia ai sensi dell'art 13, c 12, della LR 12/05 e la variante ha definita efficacia. La variante è stata poi rettificata per alcuni errori materiali con del CC n 100 del 7.11.2016 esecutiva con pubblicazione sul BURL serie Avvisi e concorsi n 52 del 28.12.2016.

Caffaro posto ad est del fiume Mella e a nord della ferrovia Milano/Venezia, oltre al vero e proprio sedime dello stabilimento Caffaro [...]"..



**Figura 2: Stralcio della Tavola V-PR02 Azioni di piano. L'area di intervento è evidenziata con una freccia rossa.**

La Figura 3 riporta uno stralcio della Tavola V-DP05 di sintesi delle previsioni di piano (PGT). Il sito ricade all'interno di Progetti complessi di parti di città.

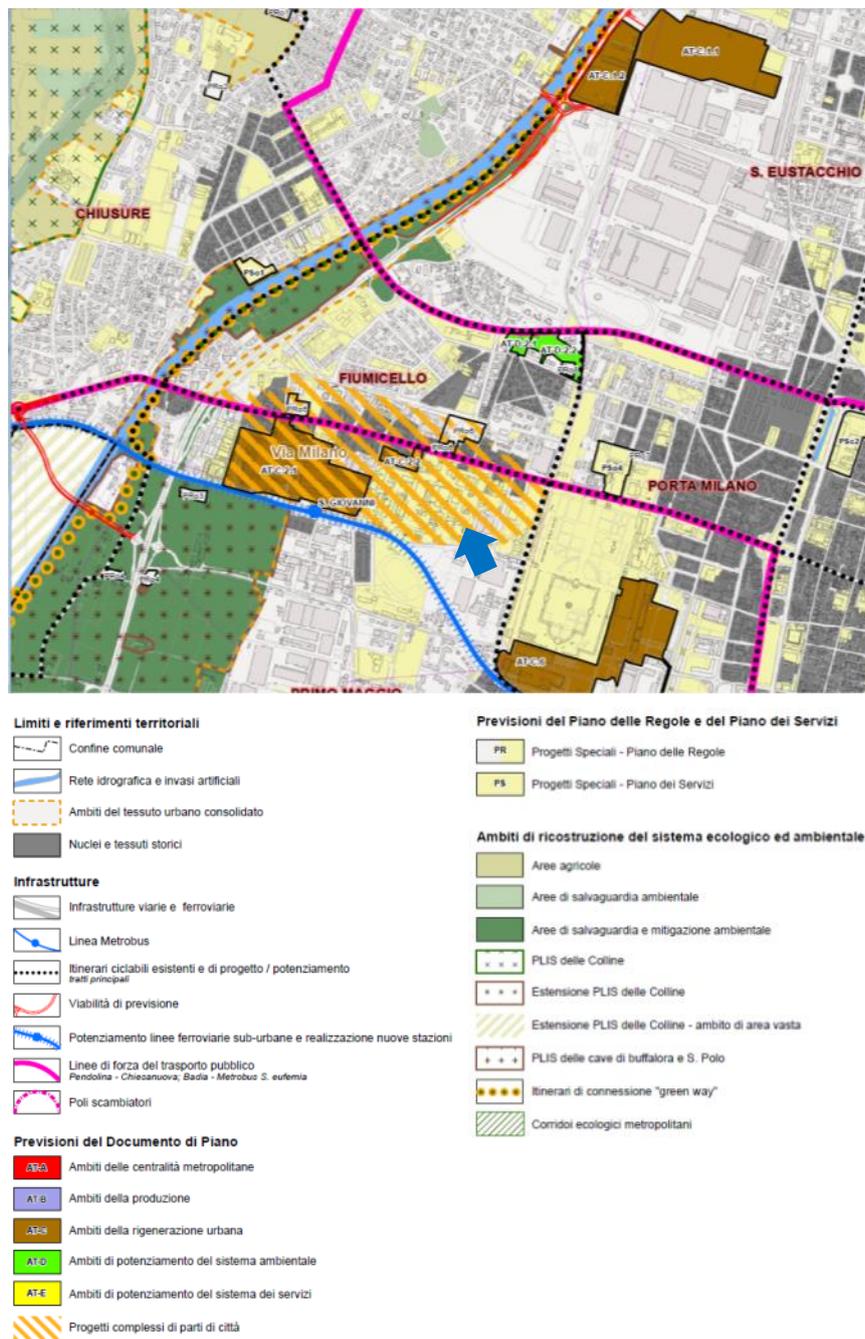


Figura 3: Stralcio della Tavola V-DP05 di sintesi delle previsioni di piano (PGT). L'area di intervento è evidenziata con una freccia blu.

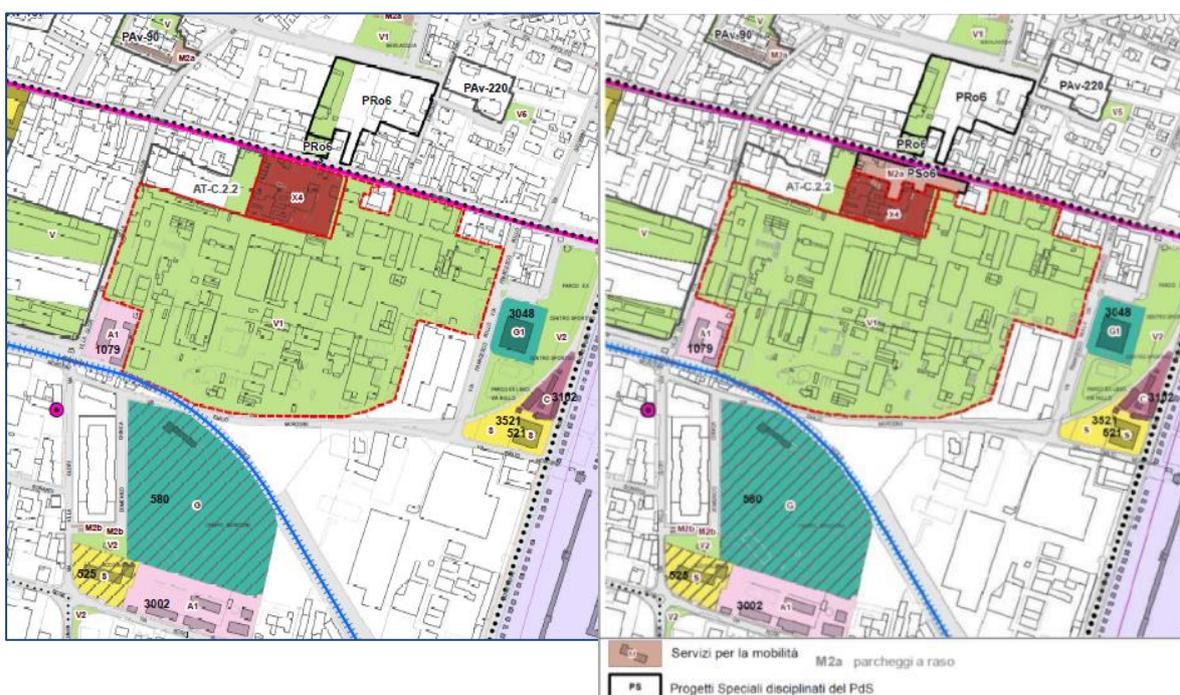
In accordo con quanto riportato nella Tavola V-PR11 Vincoli paesaggistici, il sito di Caffaro non ricade all'interno o nelle immediate vicinanze di aree vincolate ai sensi del Dlgs 42/2004 e s.m.i.; ricade, tuttavia, in un'area di interesse archeologico (Tavola V-PRO6 Tavola dei vincoli Zone di interesse archeologico).

Si segnala che per la zona oggetto di intervento è in corso di approvazione una variante allo strumento urbanistico (Variante puntuale al PGT – Piano dei servizi e documento di Piano: Aree Ideal Clima e Caffaro per apposizione vincoli preordinati all'esproprio in attuazione del progetto definitivo delle opere del progetto "Oltre la strada", ai sensi dell'art. 13, c. 4, della L.R. 12/2005 e

s.m.i., adottata con deliberazione del Consiglio Comunale n .85 /PG191502 in data 27.10.2017) che prevede la realizzazione di diverse opere pubbliche nell'area Via Milano, tra cui quelle inerenti la riqualificazione di Via Milano nel tratto compreso tra Via Industriale e la tangenziale ovest.

La variante puntuale aree Caffaro è finalizzata all'individuazione di un'area a servizi per la realizzazione di nuovi spazi aperti attualmente insistenti sull'area, il tutto coerentemente con il progetto "Oltre la strada" di cui al DPCM 25 maggio 2016 e alla convenzione con la Presidenza del Consiglio dei Ministri del 6 marzo 2017, nonché con il progetto definitivo dell'opera pubblica approvato in linea tecnica con delibera di Giunta comunale n. 364 del 27 giugno 2017 "IN.4 – Riqualificazione di Via Milano e apertura dei fronti".

Per completezza di informazione si riporta nella figura di seguito l'estratto dell'elaborato "V-PS02 Disciplina delle aree a servizio" del PTG vigente a confronto con l'estratto dell'elaborato V-PS02 Disciplina delle aree a servizio della Proposta di variante.



**Figura 4: Stralcio della Tavola V-PS02 Disciplina delle aree di servizio Q3 del PTG vigente a confronto con la Tavola della Proposta di Variante.**

## 2.4. Sintesi del procedimento amministrativo di bonifica

Di seguito si riporta una breve sintesi del procedimento amministrativo-ambientale relativo ai suoli e alle acque di falda (Rif. “*Relazione di sintesi – Revisione del 31.08.2016*”).

### 2.4.1. Matrice ambientale Suolo/Sottosuolo

- 1) **Caratterizzazione ambientale** del sito effettuata ai sensi del D.M. 471/99 attraverso l'esecuzione di n.4 campagne di indagine nel periodo 2000-2005. Le attività di caratterizzazione svolte, comprensive di tutte le indagini integrative sono state valutate dal Ministero dell'Ambiente e dagli EECC in occasione delle diverse Conferenze dei Servizi. Durante la CdS Decisoria del 29/09/2006 il MATTM prende atto del documento redatto da NCE circa l'analisi dei livelli di contaminazione comprendenti anche i risultati della caratterizzazione.
- 2) Nel maggio 2005, viene trasmessa l'Analisi rischio sanitario per i lavoratori predisposta secondo il D.M 471/99 su cui gli Enti, in occasione della CdS del 20/01/2006, esprimono critiche e richiedono la presentazione entro 30 giorni del Progetto Preliminare di bonifica delle acque e dei suoli dell'area di proprietà. Nel maggio 2006 Caffaro invia il Modello concettuale definitivo dello stabilimento e l'**Analisi di Rischio ambientale** redatta ai sensi del D.Lgs. 152/06 per il calcolo delle CSR, per quest'ultima in sede di CdS istruttoria del 27/06/2006 il MATTM esprime parere sfavorevole sull'impostazione metodologica e sulle conclusioni. Pertanto, in CdS Decisoria del 29/09/2006 si richiede alla Caffaro di predisporre, entro 30 giorni dalla data di ricevimento del verbale, la rielaborazione dell'AdR sulla base di alcune prescrizioni. Nel maggio 2007 viene sviluppata l'Analisi di Rischio Sito Specifica (area esterna ed area interna) per la quale, in CdS Decisoria del 11/10/2007, si richiede nuovamente una revisione entro 30 giorni dalla data di ricevimento del verbale, nel rispetto delle prescrizioni formulate e relative alle conclusioni sul rischio di esposizione dei lavoratori ai vapori del suolo e sui valori di monitoraggio delle acque. Non essendo pervenuta alcuna revisione, la richiesta viene rinnovata in sede di CdS Decisoria del 26/06/2013. Allo stato attuale, per il sito Caffaro, non è stata approvata alcuna Analisi di Rischio ai sensi della vigente normativa, pertanto non sono state definite le Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) accettabili e quindi gli obiettivi di bonifica da raggiungere.
- 3) La Conferenza dei Servizi decisoria del 26/06/2013 richiede i risultati delle “attività di taratura dell'Analisi di Rischio (dei suoli)” già avviate in precedenza con ARPA Lombardia, nonché la revisione dell'Analisi di Rischio, sulla base delle prescrizioni formulate dalle CdS Decisorie del 11/10/2007 e 29/09/2009”. Delibera di richiedere alla Procedura in Amministrazione Straordinaria di trasmettere anche il **Progetto Operativo di Bonifica dei suoli**, già richiesto a partire dalla CdS Decisoria del 20/01/2006, che tenga conto dei risultati dell'AdR. Allo stato attuale non è stato presentato alcun progetto di bonifica.
- 4) Nel giugno 2018, la scrivente società AECOM ha redatto per conto del Commissario il “**Progetto di fattibilità tecnica ed economica** per: Lotto 2) Bonifica/messa in sicurezza permanente del suolo e del sottosuolo dello stabilimento della Caffaro a Brescia – CIG 6804685BB”. Lo studio, sulla base delle informazioni tecniche disponibili e degli approfondimenti specialistici effettuati, ha individuato le soluzioni tecnologiche applicabili al sito, ai fini del risanamento ambientale del sottosuolo. Inoltre è stato definito un piano di Remedial Investigations, propedeutiche alla progettazione della bonifica.

## 2.4.2. Matrice ambientale Acque di Falda

- 5) Il **Progetto Preliminare di Messa in Sicurezza Operativa delle acque di falda** è stato redatto e trasmesso agli enti dalla Caffaro nel maggio 2006. Su tale progetto si è espressa la CdS decisoria del 29/09/2006 deliberando di *non ritenere condivisibile l'approccio seguito dall'Azienda di non trattare le acque di falda contaminate prelevate e non destinate a riutilizzi veri e propri (escludendo quindi l'uso come acque di raffreddamento, per guardie idrauliche e per sistemi antincendio) e di scaricarle ai limiti fissati dalla tabella 3 dell'allegato 5 alla parte terza del D.lgs. 152/2006...*.....Pertanto in sede di CdS Decisoria, si richiede all'Azienda di trasmettere, entro 30 giorni dalla data di notifica del verbale, la revisione del Progetto medesimo sulla base delle prescrizioni formulate. Atteso che a tale richiesta l'Azienda non ha ottemperato, in sede di CdS Decisoria del 11/10/2007, viene richiesto di trasmettere, entro 30 giorni dalla data di ricevimento del verbale, il **Progetto Definitivo di Bonifica delle acque di falda** che ottemperi a tutte le prescrizioni. In sede di CdS Decisoria del 26/06/2009 il MATTM richiede ad ARPA i rapporti di prova sulla qualità delle acque di scarico dello stabilimento e all'Azienda copia dell'autorizzazione allo scarico ex D.lgs. 152/06 rilasciata dalla provincia di Brescia. Viene reiterata la richiesta di presentare il Progetto Definitivo di Bonifica delle acque di falda. Nel 2011 la Caffaro Chimica S.r.l. in liquidazione in amministrazione straordinaria vende il ramo d'azienda alla società New Co Brescia S.r.l., successivamente Caffaro Brescia S.p.A., la quale si impegna a proseguire senza continuità e mantenere in efficienza le opere e gli interventi di messa in sicurezza d'emergenza. Con nota prot. 05/13 comunica al MATTM che il sistema di emungimento delle acque di falda è costituito da n. 7 pozzi, di cui due collegati a specifici impianti di trattamento: filtro a resine per il pozzo P2, per l'abbattimento del mercurio, filtri a carbone, a resine e stripping per il pozzo P7, per il trattamento di mercurio, composti organo clorurati e PCB. L'acqua emunta viene immessa nella rete industriale e da qui distribuita agli utilizzi di stabilimento (processo e raffreddamento). Nel 2014 la Caffaro Brescia trasmette al MATTM il documento "Valutazione dello sbarramento idraulico della falda presso lo stabilimento Caffaro a Brescia". Allo stato attuale non è stato predisposto un Progetto di Bonifica delle acque di falda per il sito in esame.
- 6) Nella Conferenza dei Servizi Istruttoria del 22/07/2015 si chiede che sia redatta un'analisi di rischio per verificare l'assenza di rischio sanitario per i lavoratori dovuta alla contaminazione presente nella falda."
- 7) Nel giugno 2018, la scrivente società AECOM ha redatto per conto del Commissario il "Progetto di fattibilità tecnica ed economica per: Lotto 1) Messa in sicurezza di emergenze e bonifica/messa in sicurezza permanente delle acque sotterranee presso lo stabilimento della Caffaro a Brescia – CIG 6804677519. Nello stesso studio si è evidenziata la necessità di predisporre un piano di Remedial investigations propedeutiche per la progettazione preliminare e per l'implementazione di un modello idrogeologico sito-specifico nell'areale del sito Caffaro.

### 3. CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE DEL SITO

In questo capitolo è sintetizzato lo stato di qualità delle matrici ambientali pertinenti al sito (suolo/sottosuolo e acque sotterranee) deducibile sulla base dei dati acquisiti attraverso le molteplici indagini condotte dal 2000 ad oggi.

#### 3.1. Sintesi delle indagini di caratterizzazione svolte e dei risultati conseguiti

##### 3.1.1. Matrice ambientale Suolo/Sottosuolo

Come si evince dalla “Relazione di sintesi – Revisione del 31.08.2016” dal 2000 al 2005 sono state eseguite n. 4 campagne di caratterizzazione ambientale. *“I campioni di terreno prelevati sono stati raggruppati, secondo la profondità di prelievo, in 4 orizzonti stratigrafici:*

**Livello A** (0,0 – 1,5 m) *riporto, rappresenta la porzione di terreno in cui è presumibilmente concentrata la quasi totalità della massa degli inquinanti;*

**Livello B** (1,5 – 3,0 m) *limo prevalente, porzione di terreno fondamentale per la migrazione dei contaminati a maggiore profondità;*

**Livello C** (3,0 – 10,0 m) *ghiaia prevalente;*

**Livello D** (10,0 – 40 m) *sabbia prevalente.”*

**Tabella 3: Attività di indagine (Fonte: Tabella 2 della “Relazione di sintesi Revisione del 31.08.2016” – Fonte: “MCS definitivo redatto da NCE nel Maggio 2006”)**

Tabella 1.14 - Attività di indagine					
Campagna d'indagine	Data di esecuzione	N. sondaggi	N. scavi esplorativi	N. campioni prelevati (*)	
Prima campagna	12/2000-05/2001	55	0	57	Livello A
				37	Livello B
				71	Livello C
				93	Livello D
				<b>258</b>	<b>Totale</b>
Seconda campagna	10/2001-03/2002	15+3 (*)	1	17	Livello A
				0	Livello B
				30	Livello C
				0	Livello D
				<b>47</b>	<b>Totale</b>
Terza campagna	10/2003-03/2004	24	6	54	Livello A
				10	Livello B
				44	Livello C
				26	Livello D
				<b>134</b>	<b>Totale</b>
Quarta campagna	03/2005-04/2005	21	9	60	Livello A
				11	Livello B
				20	Livello C
				0	Livello D
				<b>91</b>	<b>Totale</b>
<b>TOTALE</b>	<b>12/2000-04/2005</b>	<b>115+3 (*)</b>	<b>17</b>	188	Livello A
				58	Livello B
				165	Livello C
				119	Livello D
				<b>530</b>	<b>Totale</b>

*Le profondità degli orizzonti di terreno indicati sono:  
 Livello A: 0-1,5 m da p.c.;  
 Livello B: 1,5-3,0 m da p.c.;  
 Livello C: 3,0-10,0 m da p.c.;  
 Livello D: 10,0-40,0 m da p.c.;*

*(\*) 3 sondaggi eseguiti nel corso della seconda campagna di indagine sono stati realizzati per studiare le caratteristiche geotecniche del sottosuolo. Da questi sondaggi non sono stati prelevati campioni da sottoporre ad analisi chimiche ambientali.*

Nella tabella seguente si riassumono le motivazioni di esecuzione e le indagini eseguite per ciascuna campagna, desunte dal documento "Analisi della concentrazione delle sostanze contaminanti presenti nel sottosuolo dello stabilimento Caffaro di Brescia e Modello Concettuale Definitivo dello stabilimento" del Maggio 2006. L'ubicazione delle indagini è riportata in All. 4 alla presente relazione.

**Tabella 4: Motivazione e punti di indagine realizzati per ciascuna campagna di indagine (Fonte: "MCS definitivo redatto da NCE nel Maggio 2006")**

CAMPAGNA	MOTIVAZIONE	PUNTI DI INDAGINE REALIZZATI
Prima (dicembre 2000- maggio 2001)	<p>Campionamento di tipo sistematico, con l'avvertenza di infittire i sondaggi in prossimità dei punti critici quali le aste principali di fognatura, le vasche dell'impianto di depurazione ed i serbatoi.</p> <p>Il reticolo base adottato è di circa 40 m x 40 m con l'infittimento nei punti critici.</p> <p>Si è resa necessaria l'esecuzione di sondaggi inclinati per determinare la qualità del sottosuolo sottostante gli impianti dismessi ed i serbatoi, nel caso di difficoltà di accesso all'interno degli edifici e in corrispondenza del fondo di vasche. Le motivazioni che hanno suggerito l'esecuzione di sondaggi inclinati sono quindi state di ordine logistico.</p>	<p><u>55 sondaggi geognostici (di cui 7 attrezzati a piezometro):</u></p> <p>4 sondaggi spinti fino a 10 m da p.c. (C13bis, C35bis, C44, C45);</p> <p>1 sondaggio spinto fino a 15 m da p.c. (C33bis);</p> <p>18 sondaggi spinti fino a 20 m da p.c. (C2, C3, C6, C7, C8, C10, C11, C12, C15, C19, C22, C23, C24, C25, C28, C31, C36, C38);</p> <p>10 sondaggi spinti fino a 30 m da p.c. (C5, C9, C14, C16a, C16b, C17, C18a, C18b, C27, C37);</p> <p>8 sondaggi inclinati spinti fino a 30 m da p.c. (C13, C20, C29, C34, C40a, C40b, C40c, C40d);</p> <p>7 sondaggi spinti fino a 40 m da p.c. (C26a, C26b, C26c, C30, C32, C35, C39).</p> <p>7 sondaggi spinti fino a 80 m da p.c. e successivamente attrezzati a piezometro (C1-Pz1, C4-Pz2, C21-Pz3, C33-Pz5, C41-Pz4, C42-Pz6, C43-Pz7).</p>
Seconda (novembre 2001-marzo 2002)	<p>Eseguita volontariamente da Caffaro con lo scopo di meglio definire lo stato di contaminazione del sottosuolo individuato nel corso della campagna di indagine precedente.</p>	<p><u>15 sondaggi geognostici e 1 scavo esplorativo:</u></p> <p>15 sondaggi spinti fino a 8 m da p.c. (C46-C60);</p> <p>1 scavo esplorativo spinto fino a 3 m da p.c. (TRINCEA-T1).</p> <p>Nel corso della stessa campagna di indagine sono stati realizzati 3 sondaggi geognostici (G1, G2 e G3 spinti rispettivamente fino a 40, 50 e 40 m da p.c.) atti a definire le caratteristiche geotecniche del sottosuolo, di questi uno è stato attrezzato a piezometro (G2-Pz8).</p>
Terza (ottobre 2003- marzo 2004)	<p>Il presente supplemento di caratterizzazione è stato approvato con prescrizioni nella Conferenza dei Servizi del 06/08/03 ed ha comportato sia l'esecuzione di nuovi sondaggi/trincee che analisi integrative, come da prescrizioni, su campioni delle precedenti campagne di indagine.</p> <p>Il numero, l'ubicazione e la tipologia dei nuovi punti di indagine sono stati scelti con lo scopo di migliorare la definizione della contaminazione dei punti che già nelle precedenti campagne avevano evidenziato, a diverse profondità, fenomeni di contaminazione del sottosuolo. Una particolare attenzione è stata posta ad aree ove erano state riscontrate concentrazioni anomale al fine di delimitare e caratterizzare la contaminazione rilevata.</p>	<p><u>24 sondaggi geognostici (di cui 2 attrezzati a piezometro) e 6 scavi esplorativi:</u></p> <p>7 sondaggi spinti fino a 5 m da p.c. (C16c, C17a, C17b, C19bis, C30bis, C30ter, C36bis);</p> <p>1 sondaggio inclinato spinti fino a 5 m da p.c. (C13ter);</p> <p>2 sondaggi spinti fino a 10 m da p.c. (C25bis, C61);</p> <p>10 sondaggi spinti fino a 25 m da p.c. (C14bis, C26d, C26f, C26h, C32bis, C32ter, C34bis, C37bis, C62, C63);</p> <p>2 sondaggi inclinati spinti fino a 25 m da p.c. (C26e, C26g);</p> <p>2 sondaggio spinti fino a 40 m da p.c. e successivamente attrezzati a piezometro (C64-Pz9, C65-Pz10);</p> <p>6 scavi esplorativi spinti fino a 2 m da p.c. (T2/1, T2/2, T3/1, T3/2, T4, T5).</p>
Quarta (marzo 2005- aprile 2005)	<p>Eseguita per meglio definire, in vista di possibili sviluppi dei propri programmi industriali, il livello di contaminazione in due aree del sito oggetto del presente documento (Area Nord: settore più settentrionale dello stabilimento Caffaro di estensione approssimativa pari a 48'500 m<sup>2</sup>; Area Ovest: settore più occidentale dello stabilimento che ricopre un'area</p>	<p><u>21 sondaggi geognostici e 9 scavi esplorativi:</u></p> <p>11 sondaggi spinti fino a 3 m da p.c. (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P10, P11, P17, P20, P21);</p> <p>10 sondaggi spinti fino a 10 m da p.c. (P7, P8, P9, P12, P13, P14, P15, P16, P18, P19);</p> <p>9 scavi esplorativi spinti fino a 2 m da p.c. (T6, T8, T9,</p>

CAMPAGNA	MOTIVAZIONE	PUNTI DI INDAGINE REALIZZATI
	<p>indicativa di 7'300 m<sup>2</sup>).</p> <p>La profondità dei sondaggi integrativi è stabilita a garantire il campionamento di almeno un metro del terreno naturale in posto che, nelle aree in questione, sulla base delle stratigrafie dei sondaggi eseguiti durante le precedenti campagne, risulta essere costituito da ghiaia con sabbia. Nonostante la relativa limitata profondità di alcune di tali indagini, si è preferita la tecnica del carotaggio a quella dello scavo a trincee per la presenza sull'area in oggetto di numerosi sottoservizi ancora attivi, impianti e locali chiusi. Nelle aree dove, nel corso delle precedenti indagini, per alcuni analiti è stato riscontrato il superamento dei limiti previsti dal D.M. 471/99 anche nel Livello C sopra definito, i carotaggi sono stati spinti sino a -10,0 m dal piano campagna.</p> <p>Tali sondaggi sono posti nella zona di confine fra le aree oggetto della quarta campagna di indagine e le rimanenti porzioni dell'area industriale, dove sono concentrate le attività produttive dello stabilimento.</p> <p>L'esecuzione delle trincee era finalizzata soprattutto all'indagine dello strato di terreno più superficiale, costituito prevalentemente da materiale di riporto, in particolare per la ricerca di PCB, diossine e furani secondo il protocollo di indagine stabilito dal laboratorio SGS Italia per il campionamento e pretrattamento di tali microinquinanti ed approvato dall'ISS.</p>	T10, T11, T12, T13, T14, T15).

### 3.1.1.1. *Qualità matrice Suolo/Sottosuolo*

A seguito delle indagini di caratterizzazione i contaminanti di interesse individuati nella matrice suolo e sottosuolo sono i seguenti: Arsenico; Mercurio; Piombo; Rame totale; PCB totali; PCN; PCT;  $\alpha$ HCH;  $\beta$ HCH; Lindano; DDD, DDT, DDE; Sommatoria PCDD/PCDF (conversione T.E.Q.).

La loro distribuzione spaziale evidenzia una maggiore concentrazione dei contaminanti nel Livello A, mentre il Livello B rappresenta la porzione di terreno fondamentale per la migrazione dei contaminanti a maggiore profondità. Nei Livelli C e D si riconoscono, nella zona sud-ovest dello stabilimento, concentrazioni considerevoli per Arsenico, Mercurio e PCB. (All.4 – Tavole 9a-9n).

### 3.1.2. Matrice ambientale acque sotterranee

A partire dall'anno 2000, con la presentazione del Piano di Caratterizzazione del sito, contemporaneamente all'esecuzione dei sondaggi geognostici, sono stati realizzati una serie di piezometri finalizzati a meglio comprendere le caratteristiche idrochimiche e idrogeologiche della falda sottostante l'insediamento industriale, dove erano già presenti n.7 pozzi industriali per usi produttivi. Le acque di falda sono risultate essere contaminate principalmente da alifatici clorurati, PCB, mercurio e antiparassitari (DDT e similari).

La rete di monitoraggio delle acque di falda, risulta costituita da:

- Rete interna allo stabilimento:

N. 7 pozzi industriali (P1-P7) e N. 10 piezometri interni allo stabilimento: PZ1 – PZ7: 80 m (realizzati durante la prima fase di caratterizzazione, dicembre 2000 – maggio 2001); PZ8: 50 m (realizzato durante la seconda caratterizzazione novembre, 2001 – marzo 2002); PZ9 – PZ10: 40 m (costruiti durante la 3a caratterizzazione, ottobre 2003 – marzo 2004);

- Rete esterna:

N. 5 piezometri (Pz1est – Pz5est) appartenenti alle triplete di piezometri (profondità -40 m, -80 m, -120 m), tutti realizzati in occasione della terza fase di caratterizzazione (ottobre 2003 – marzo 2004)

L'ubicazione della rete di monitoraggio è riportata nella planimetria nella Figura 5 sotto riportata.

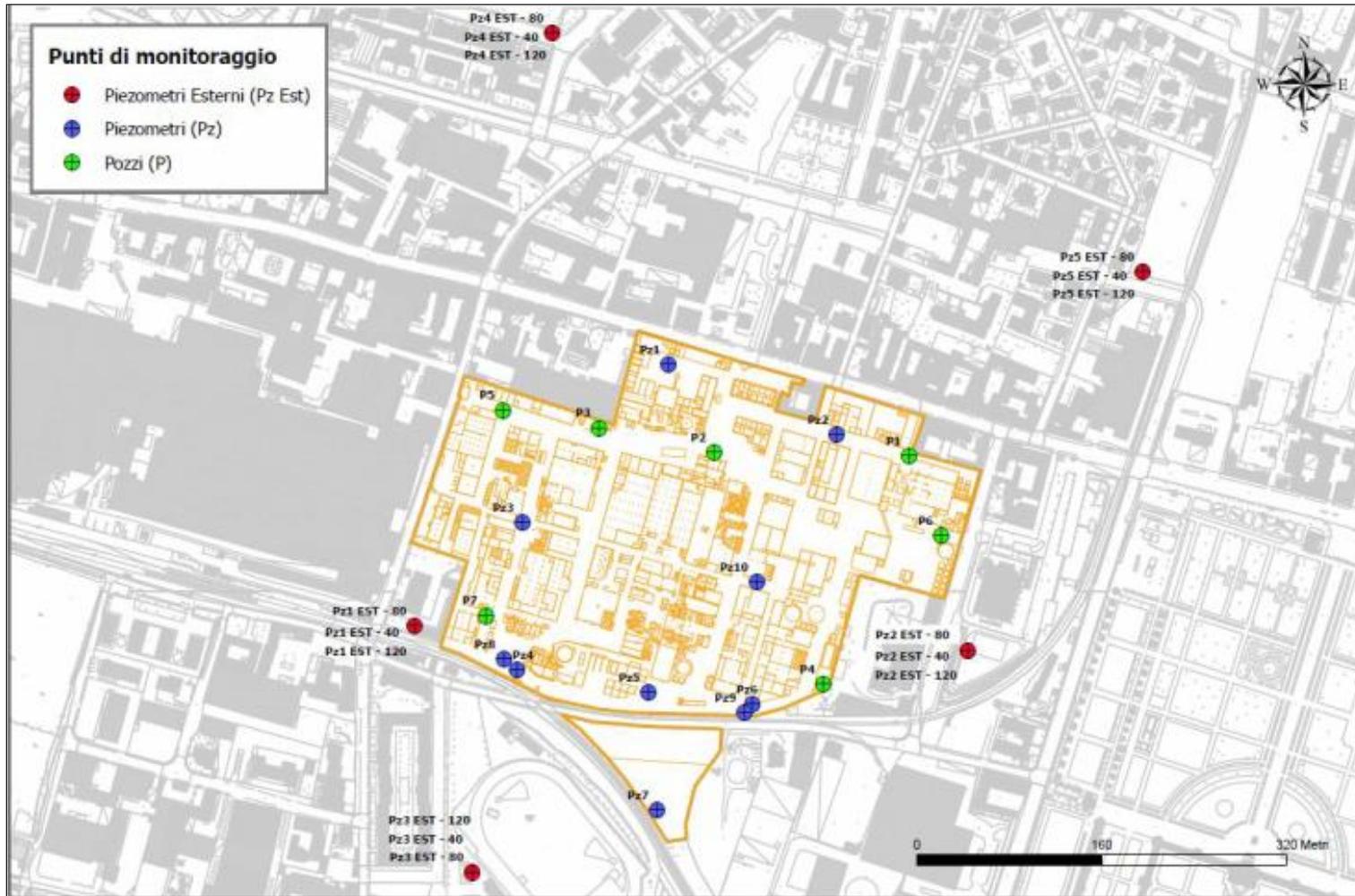


Figura 5: Planimetria posizione piezometri e pozzi dello Stabilimento Caffaro  
(Fonte: Immagine 5 della “Relazione di sintesi – Revisione del 31.08.2016”)

Il piano di monitoraggio delle acque di falda attivo presso lo stabilimento in oggetto segue il protocollo analitico definito nel 2010 e riportato in Tabella 5 sottostante.

**Tabella 5: Piano di monitoraggio acque di falda (Fonte: Tabella 4 della “Relazione di sintesi – Revisione del 31.08.2016”)**

ALLEGATO 1	
 <b>PIANO DI MONITORAGGIO ACQUE DI FALDA rev.aprile 2010</b>	
Punti di controllo	
<i>pozzi</i>	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 (*)
<i>piezometri interni</i>	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
<i>piezometri esterni</i>	1est (80) , 3est (80) , 4est (80) , 5est (80) (x)
<i>valle trattamenti</i>	pozzo 2 - uscita resine, pozzo 7 - uscita trattamento
<p>(*) POZZI: Sono campionati i pozzi in esercizio</p> <p>(x) PIEZOMETRI ESTERNI: Delle triplette esterne è campionato il solo piezometro che intercetta tutto il primo acquifero (-80 m da p.c.). Tutti i 15 piezometri costituenti le triplette (-40, -80, -120 m da p.c.) sono campionati una volta all'anno</p>	
Analiti	
Hg, As, Cr tot, CrVI Alifatici clorurati cancerogeni e non cancerogeni Fitofarmaci PCB PCDD/PCDF <span style="float: right;">(sui piezometri esterni ogni 2 mesi)</span>	

Nei mesi da giugno 2014 e gennaio 2015 sono stati eseguiti i monitoraggi chimici e piezometrici della falda estesi a tutti i siti rientranti nel SIN Brescia-Caffaro secondo un protocollo redatto da ARPA nell'Aprile 2014 e rientrante dell'accordo di programma del 2009 stipulato tra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, la Regione Lombardia, la Provincia di Brescia, il Comune di Brescia.

### 3.1.2.1. Stato di fatto Azioni di Emungimento

Presso lo stabilimento è in azione, dal 2003, un sistema di emungimento che intercetta le acque di falda sottostanti il Sito, a profondità comprese tra 30 e 95 m da p.c. tramite il pompaggio da 7 pozzi industriali (Figura 5).

Attualmente il sistema consiste nell'emungimento di circa 1.300 – 1.400 m<sup>3</sup>/h, da 4-5 dei 7 pozzi industriali presenti nell'area. Soltanto le acque provenienti dai 2 pozzi maggiormente contaminati (P7 e P2) sono sottoposte a successivo trattamento. Le letture dei contaltri dei pozzi hanno rivelato che da gennaio 2015, cinque pozzi risultavano funzionanti, con emungimenti mensili complessivi (m<sup>3</sup>/mese) compresi tra 890.000 - 1.081.000 m<sup>3</sup>/mese.

## 3.1.2.2. Qualità matrice Acque Sotterranee

### Stato di fatto della contaminazione

Le figure seguenti illustrano la distribuzione spaziale e le concentrazioni di alcuni dei principali composti che hanno mostrato superamenti delle CSC nella campagna di monitoraggio del Settembre 2017 (Dati ARPA).

Le concentrazioni massime di **Tetracloroetilene** (Figura 6), comprese tra 25 e 30  $\mu\text{g/l}$ , sono state registrate a monte idrogeologico (Pz5 Est) e a lato dello stabilimento (Pz 2 Est), mentre all'interno dello stabilimento sono sempre inferiori a 20  $\mu\text{g/l}$ . Confrontando tale pattern con la ricostruzione delle aree di cattura riportate in Figura 13 (Modellazione Environ Ottobre 2014) è evidente come tale composto sia richiamato dall'esterno dall'azione di emungimento in atto nello stabilimento Caffaro. Anche ARPA, nel 2016 identificava la sorgente di tale contaminazione come potenzialmente ubicata nell'area Iveco.

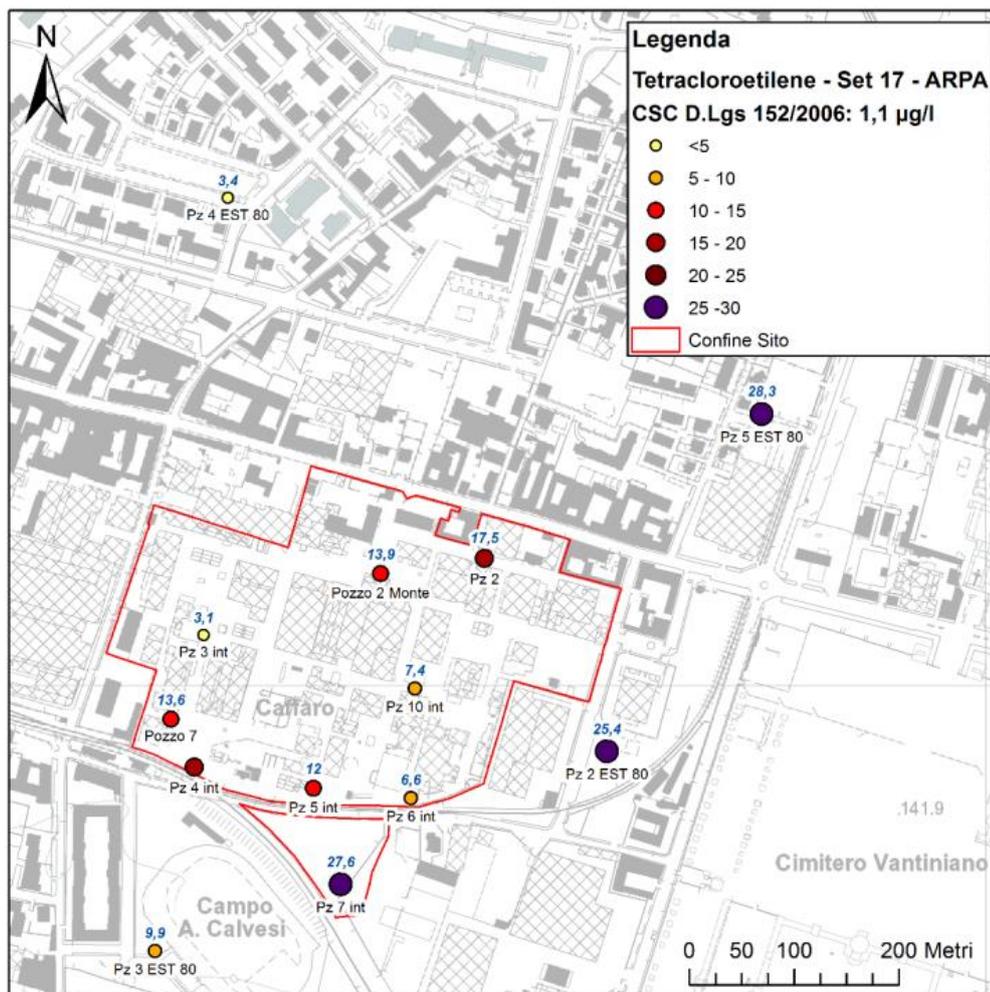


Figura 6: Concentrazioni di PCE nell'ultima campagna di monitoraggio - Set 17

Il **Tetracloruro di Carbonio** (Tetraclorometano) sia nel 2016 che nel 2017 ha fatto registrare le massime concentrazioni, pari a 24,2 µg/l, in corrispondenza del piezometro Pz3 (Figura 7). Il campione prelevato dal Pozzo 7, posto a valle di Pz3, ed in emungimento, ha mostrato concentrazioni pari a 9,4 µg/l, superiori alla CSC, ma inferiori alla concentrazione rilevata nel piezometro. Anche Pz10 mostra concentrazioni di Tetracloruro di Carbonio simili, pari a 7,6 µg/l, mentre tutti gli altri punti, sia a monte, sia a valle mostrano valori conformi. Sulla base dei dati storici e di quelli precedentemente descritti, ARPA nel report inerente i risultati idrochimici del 2017, ipotizza una potenziale sorgente secondaria all'interno dello stabilimento Caffaro.

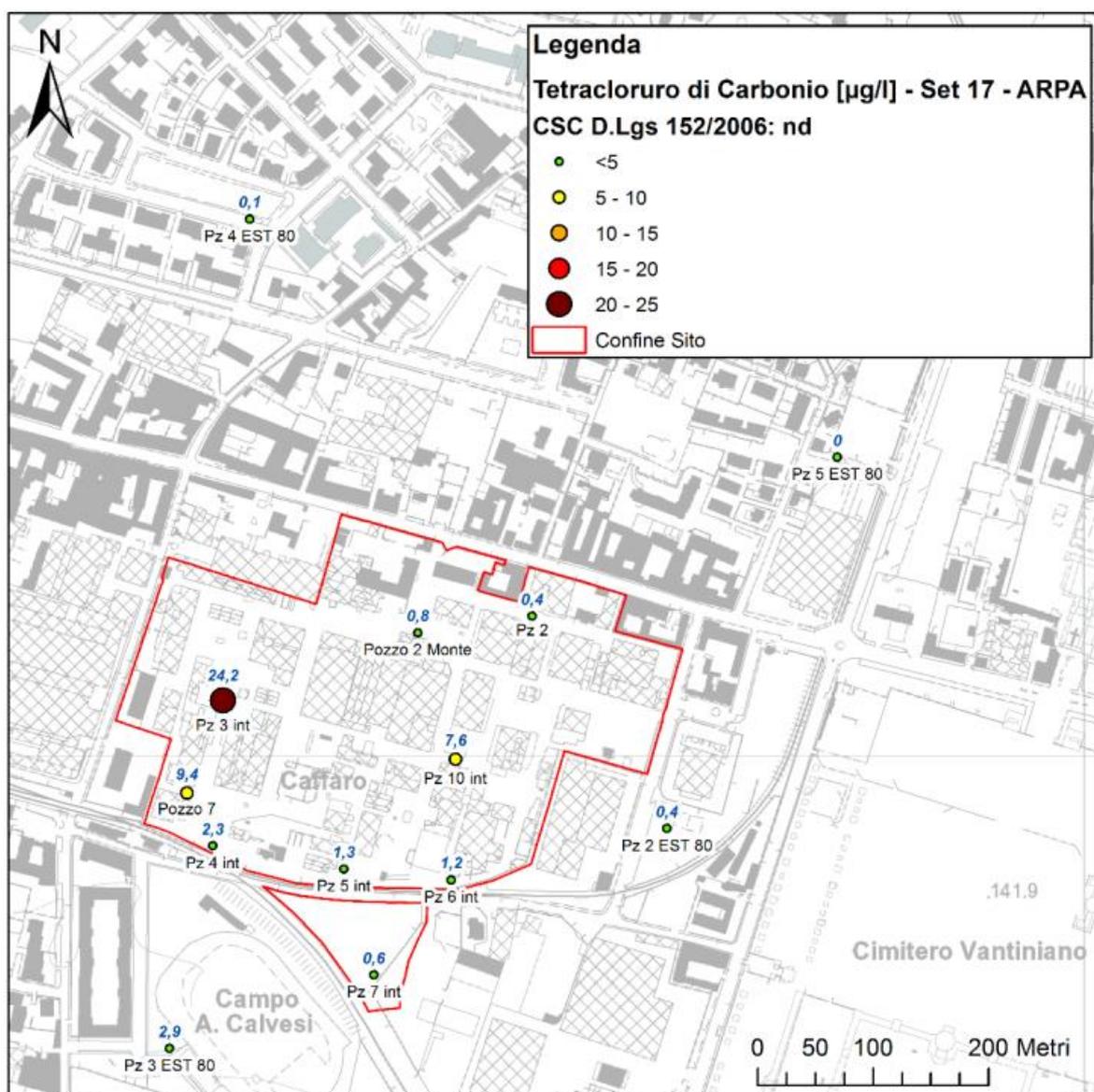


Figura 7: Concentrazioni di Tetracloruro di Carbonio nell'ultima campagna di monitoraggio - Set 17

Il **Cloroformio** (Triclorometano) mostra le concentrazioni massime, prossime a 50 µg/l, in corrispondenza del Pz10, che si trova al centro dello stabilimento, e nel Pz5, posto immediatamente a valle (19,2 µg/l). I piezometri a monte di tale settore (Figura 8) mostrano concentrazioni superiori alle CSC ma generalmente inferiori al µg/l, e quelli posti lateralmente e a valle concentrazioni inferiori o prossime al µg/l. ARPA nel report inerente i risultati idrochimici del 2017 ipotizza la presenza di una sorgente all'interno dello stabilimento.

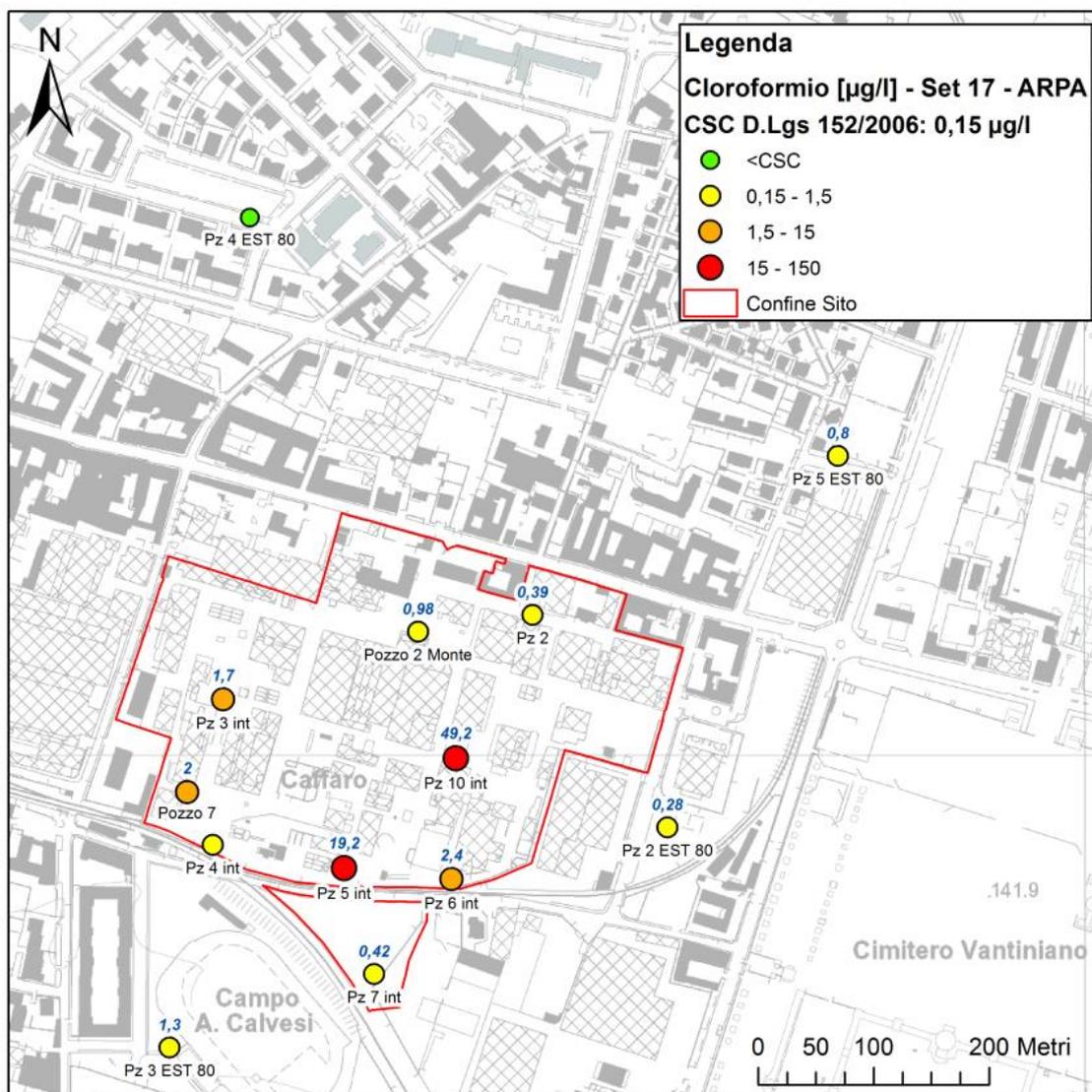


Figura 8: Concentrazioni di Cloroformio nell'ultima campagna di monitoraggio - Set 17

Per quanto concerne il **Cromo VI**, i dati dei piezometri esterni posti a monte idrogeologico mostrano concentrazioni in ingresso al sito prossime a  $10 \mu\text{g/l}$ , mentre il punto Pz10, posto nel quadrante sudorientale dello stabilimento (Figura 9) mostra concentrazioni pari a  $284 \mu\text{g/l}$ . Al contrario, le concentrazioni estratte dai pozzi in emungimento (dato 2017 disponibile per P7 e P2) sono di un ordine di grandezza inferiori, dell'ordine di poche decine di  $\mu\text{g/l}$ .

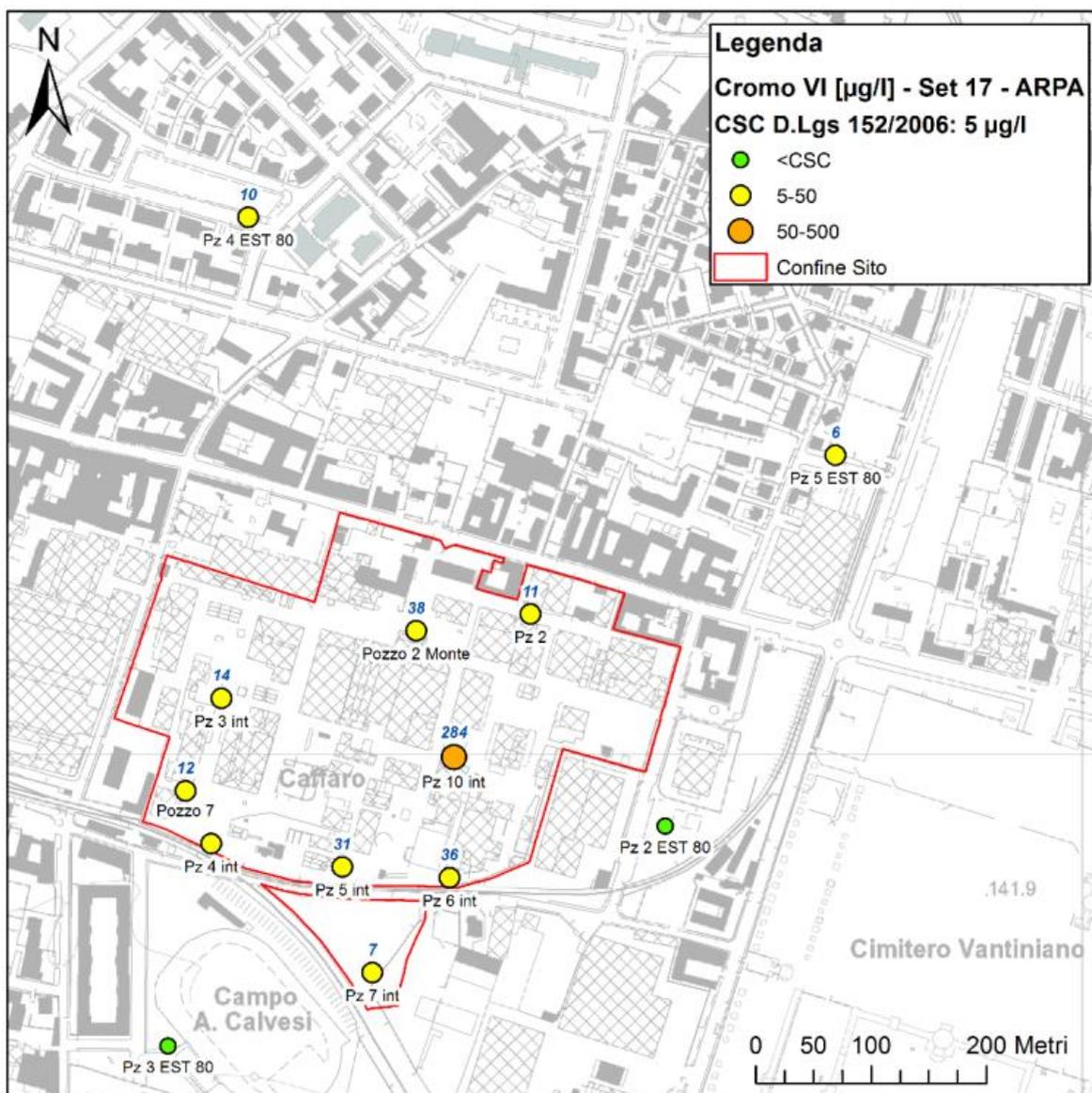
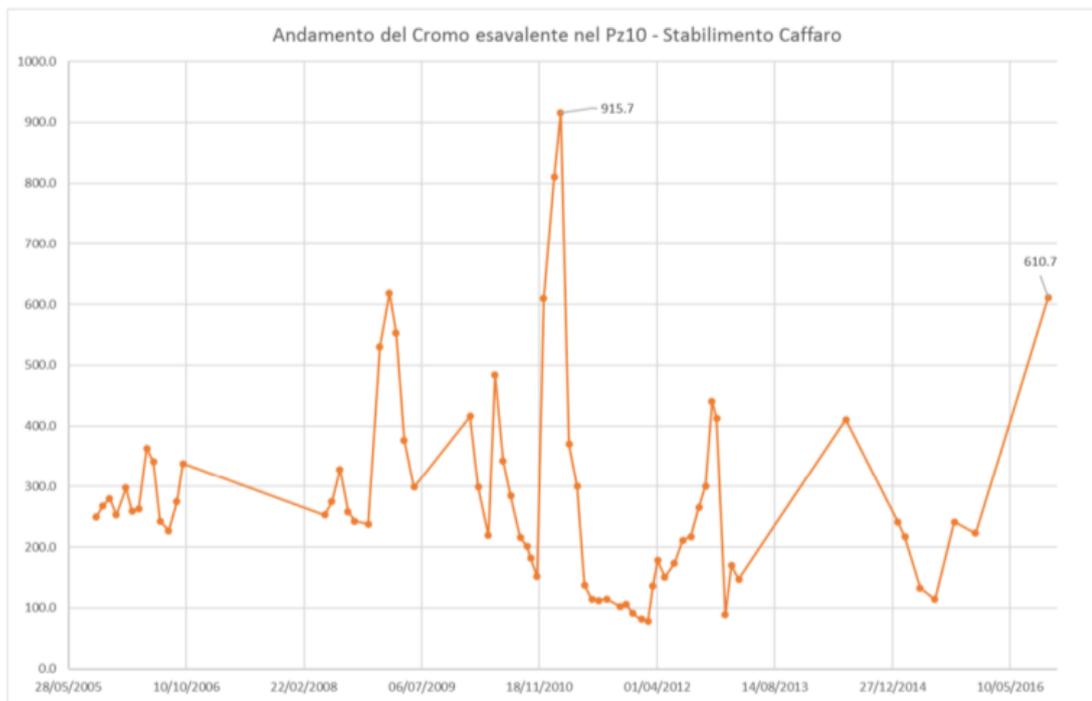


Figura 9: Concentrazioni di CrVI nell'ultima campagna di monitoraggio - Set 17



**Figura 10: Concentrazioni di Cromo VI nel Pz10 – tratto da Risultati delle indagini geochimiche e piezometriche settembre - dicembre 2016, Arpa Lombardia**

A carico del parametro Mercurio, nel **2017** è stato rilevato un unico supero, dell'ordine della decina di µg/l, anche in questo caso in corrispondenza di Pz10 (Figura 11). Tutti gli altri punti, compresi i pozzi in emungimento (dato 2017 disponibile per P2 e P7) mostrano concentrazioni inferiori alle CSC.

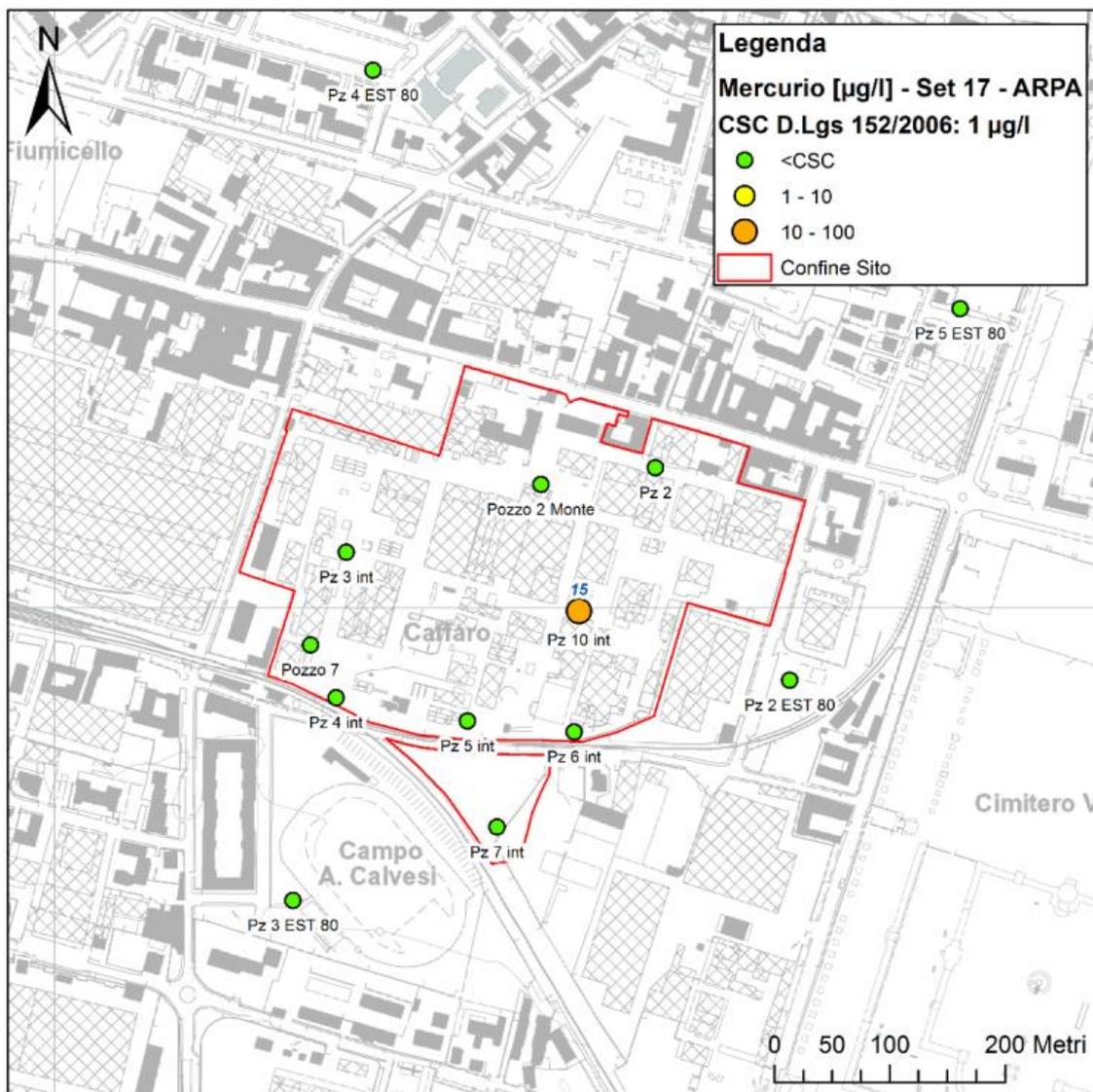
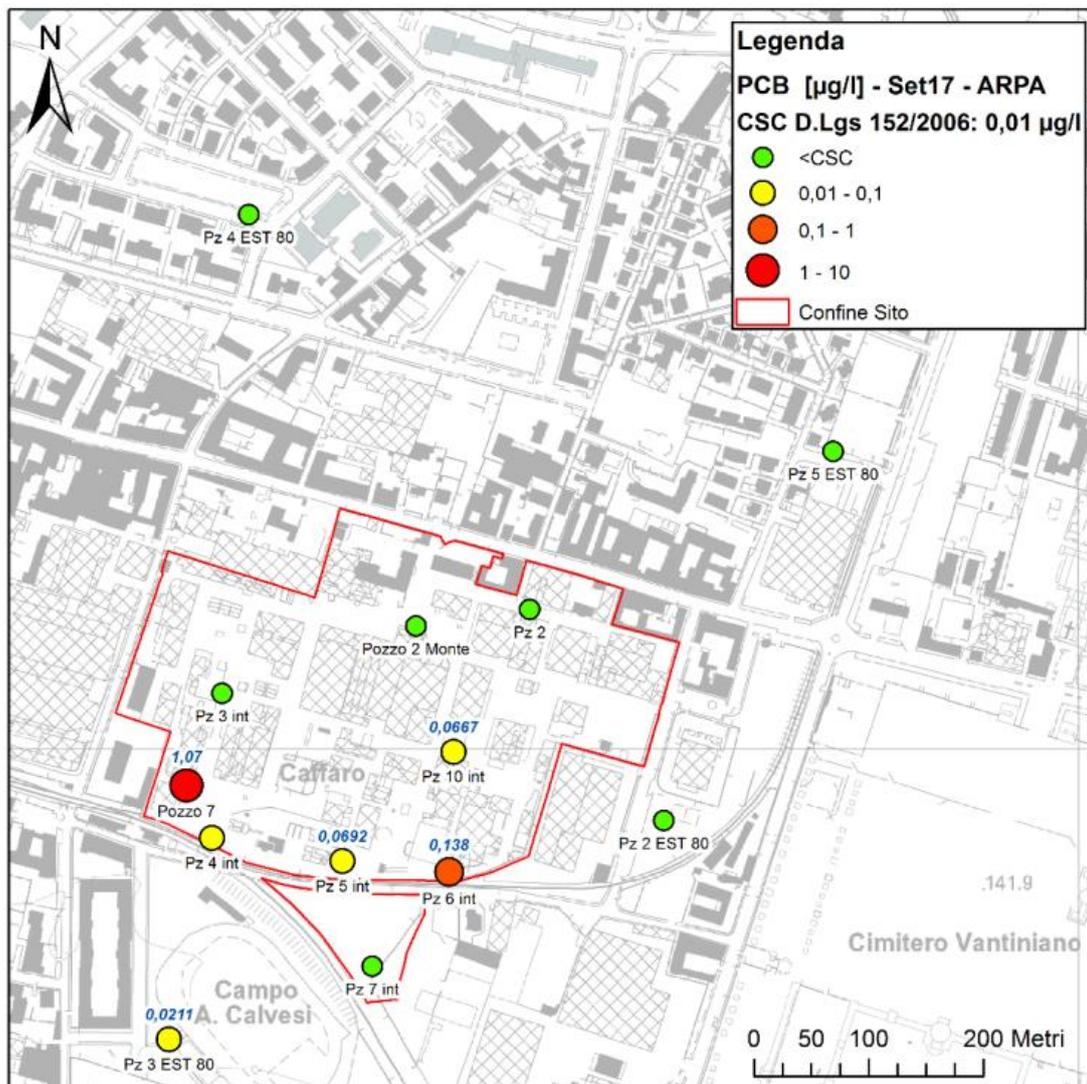


Figura 11: Concentrazioni di Mercurio nell'ultima campagna di monitoraggio - Set 17

Infine, per quanto concerne i PCB, la cui distribuzione è riportata nella seguente Figura 12, le maggiori concentrazioni, prossime al  $\mu\text{g/l}$ , sono storicamente sempre state rilevate presso il pozzo 7, mentre i punti a monte sono risultati conformi. Su 4 piezometri si registrano concentrazioni di un ordine di grandezza inferiori a quella misurata presso P7, ma comunque superiori alle CSC: si tratta di Pz10, Pz4, Pz5 e Pz6. I piezometri di valle esterni allo stabilimento mostrano un valore inferiore alla CSC (Pz7int) e leggermente superiore alla CSC (Pz 3 Est 80).



**Figura 12: Concentrazioni di PCB nell'ultima campagna di monitoraggio - Set 17**

Riassumendo, sulla base dei dati precedentemente esposti, si individuano contributi esterni di Cloroeteni (in particolare Tetracloroetilene) ma anche di Cromo VI, e contributi interni allo stabilimento per Clorometani (Cloroformio e Tetracloruro di Carbonio), Mercurio, CromoVI e PCB.

**Valutazione e stato di efficienza della MISE nella configurazione attuale**

Sulla base dei valori di portata individuali dei pozzi in esercizio nell'anno 2014 (ultimo dato disponibile), e utilizzando i valori di concentrazione risultanti dalle analisi effettuate sui campioni prelevati in data 20/01/2015, sono state effettuate alcune stime circa le masse di tali contaminanti estratte.

Tabella 6: Massa di contaminanti estratta – anno 2014

Id	Q media anno 2014 [m <sup>3</sup> /h]	Cromo VI [Kgj]	Mercurio [Kgj]	Cloroformio [Kgj]	1_1-dicloroetilene [Kgj]	Tricloroetilene [Kgj]	Tetracloroetilene [Kgj]	Tetracloruro di carbonio [Kgj]	Esaclorobenzene [Kgj]	Besacloroesano [Kgj]	PCB [Kgj]
Pozzo 2	290,26	85,7	1,5	1,1	3,2	6,4	17,8	3,0	0,0	0,0	0,0
Pozzo 3	187,95	6,8	0,7	1,2	1,5	3,6	13,8	2,8	0,0	0,0	0,0
Pozzo 4	429,21	67,3	1,5	3,9	3,8	8,3	85,3	6,7	0,0	0,0	0,0
Pozzo 5	21,06	3,7	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0
Pozzo 7	384,45	73,4	1,3	33,8	0,6	3,4	20,5	49,1	0,0	1,0	5,6
<b>Totale</b>	<b>1312,93</b>	<b>236,8</b>	<b>5,0</b>	<b>40,1</b>	<b>9,3</b>	<b>21,7</b>	<b>137,9</b>	<b>61,8</b>	<b>0,0</b>	<b>1,0</b>	<b>5,7</b>

Tabella 7: Percentuali massa di contaminanti estratta – anno 2014

Id	Q media anno 2014 [m <sup>3</sup> /h]	Cromo VI	Mercurio	Cloroformio	1,1-Dicloroetilene	Tricloroetilene	Tetracloroetilene	Tetracloruro di carbonio	Esaclorobenzene	Besacloroesano	PCB
Pozzo 2	290,26	36,2%	30,3%	2,8%	34,7%	29,2%	12,9%	4,9%	0,0%	0,0%	0,2%
Pozzo 3	187,95	2,9%	13,1%	3,0%	16,6%	16,7%	10,0%	4,5%	0,0%	1,6%	0,1%
Pozzo 4	429,21	28,4%	29,9%	9,8%	41,5%	38,0%	61,9%	10,8%	0,0%	3,6%	0,5%
Pozzo 5	21,06	1,6%	0,0%	0,1%	0,4%	0,6%	0,3%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%
Pozzo 7	384,45	31,0%	26,8%	84,4%	6,7%	15,5%	14,9%	79,4%	0,0%	94,8%	99,1%

I dati così ottenuti permettono di derivare utili considerazioni relative all'anno 2014 ma atualizzabili al 2017, sulla base dei dati di concentrazione del 2017 (per tale anno non sono disponibili tuttavia i dati di portata).

Il **99%** della massa di **PCB** viene estratta dal **P7**, le cui acque sono sottoposte a trattamento nell'impianto dedicato. A fronte di 3,3 milioni di m<sup>3</sup>/h estratti nel 2014 da P7 sono stati estratti solo **5 kg di PCB**. Il P7 estrae anche il **95% del B-esacloroesano (1 kg)**, l'**80% di Tetracloruro di Carbonio (50 Kg)** e l'**85% di Cloroformio (35 Kg)**.

La massa di **Mercurio** estratta nel 2014 è pari a **5 kg**, equamente suddivisi tra P2, P4 e P7. Tutti e 3 i pozzi in questione già nel 2015 mostravano valori di Mercurio **inferiori alle CSC**. I 5 kg di massa estratti derivano quindi essenzialmente dalle ingenti portate estratte, a fronte di concentrazioni di Mercurio inferiori al µg/l, che quindi non richiedevano trattamento alcuno.

Anche la massa totale di **Cromo VI** è rilevante, **pari a 240 kg nel 2014**. In questo caso la massa maggiore (36%) di Cromo VI è stata estratta dal **Pozzo 2**, che è ubicato nel settore di monte idrogeologico del Sito, a testimoniare **un significativo contributo in ingresso al Sito**. Un altro contributo importante è dato dai pozzi P7 (30%) e P4 (27%), posti nella fascia di valle del Sito. P3 e P5 rimuovono solo il 6% della massa totale, anche se il dato relativo a P5 è imputabile alle portate relativamente basse, mentre la concentrazione è significativa.

La massa complessiva dei **Cloroeteni** estratta è pari a **171 Kg**, primariamente rappresentati da Tetracloroetilene (138 Kg), Tricloroetilene (22 Kg) e 1,1-Dicloroetilene (9 Kg).

Come discusso nei paragrafi precedenti, i dati del 2017 mostrano un significativo contributo in ingresso al sito a carico del Tetracloroetilene, che mostra concentrazioni maggiori a monte e lateralmente al Sito (~25 µg/l), a fronte di concentrazioni estratte dai pozzi di MISE (dato 2015, ultimo disponibile) sempre inferiori a 10 µg/l tranne nel caso di P4 (22 µg/l), le cui aree di cattura (cfr. modellazione Environ) richiamano acque proprio dai settori esterni dove è stata rilevata la concentrazione maggiore.

A carico del Tricloroetilene si rileva un unico, leggero supero delle CSC presso P2 (1,7 µg/l), nel settore di monte del Sito, dove si rileva anche un supero di 1,1-Dicloroetilene (0,88 µg/l), l'unico, oltre a quelli rilevati nel piezometro esterno di monte idrogeologico Pz 5 Est 80 e nel piezometro Pz2 ubicato nel settore di stabilimento (0,45 µg/l).

Per quanto concerne i **Clorometani (Cloroformio, Tetracloruro di Carbonio)**, composti per i quali è stato individuato un contributo interno al sito, sono stati estratti complessivamente **102 Kg**, dei quali l'80% dal pozzo P7, le cui acque sono inviate a trattamento nel modulo dedicato, e un altro 10% dal pozzo P4.

A valle di tali considerazioni è opportuno introdurre una valutazione sull'efficacia e l'efficienza della MISE.

Per quanto concerne l'efficacia idrochimica, i dati inerenti le masse estratte di composti per i quali si rileva una situazione di contaminazione, e per i quali si individua un contributo interno al sito (PCB, Cromo VI, Clorometani) hanno mostrato come siano rimosse poche centinaia di Kg di contaminanti, a fronte di decine di milioni di m<sup>3</sup> di acque sotterranee estratte, con enorme dispendio energetico. Tale dato deriva in primis dalle concentrazioni relativamente basse misurate in corrispondenza dei pozzi in emungimento, se confrontate con le concentrazioni misurate nelle aree sorgente.

Nel 2014, in seguito alla marcata risalita dei livelli di falda, e su richiesta delle autorità, è stato effettuato uno studio proprio per valutare l'efficacia dello sbarramento idraulico. A tal scopo, fu utilizzato un modello bidimensionale, implementato con il software WhAEM (Wellhead Analytic Element Model), ipotizzando uno spessore saturo di 70 m (carico idraulico della falda presso il confine sud del sito pari a 118 m s.l.m.) e una conducibilità idraulica uniforme di  $5 \times 10^{-3}$  m/s.

Nel documento, intitolato “*Valutazione dell'efficacia dello sbarramento idraulico della falda presso il sito Caffaro Brescia.*”, si riporta che l'innalzamento dei livelli della falda non intaccava l'efficacia di sbarramento della barriera idraulica, indicando in 1450 m<sup>3</sup>/h la portata complessiva necessaria per ottenere aree di cattura estese su un fronte due volte più ampio rispetto al sito.

Il medesimo studio tuttavia indicava anche ampi margini di miglioramento del sistema di barrieramento in quanto le aree di cattura simulate non interessano la porzione centrale dello stabilimento compresa tra P2 e Pz5 nella configurazione di MISE attuale, che vede l'emungimento da due pozzi di valle (P7 e P4) e da 4 pozzi di monte (P5, P3, P2, P6).

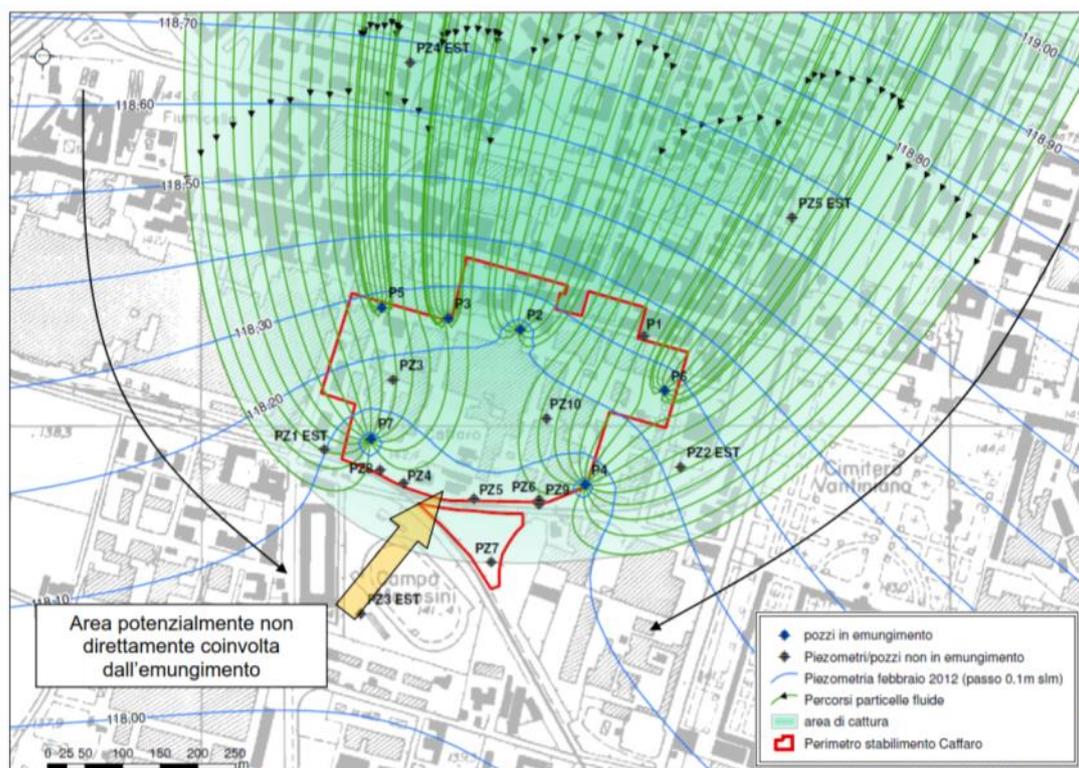


Figura 13: Ricostruzione delle aree di cattura in condizioni di falda alta - *Valutazione dell'efficacia dello sbarramento idraulico della falda presso il sito Caffaro Brescia.*, Environ, Ottobre 2014

## 4. RISULTATI DELLE INDAGINI PROPEDEUTICHE ALLA PROGETTAZIONE

Nel periodo Dicembre 2018 – Febbraio 2019 sono state eseguite le indagini di campo e di laboratorio finalizzate a meglio definire le fasi di progettazione operativa. Le attività sono state supervisionate dal personale tecnico Arpa Dipartimento di Brescia.

In tale occasione, sono stati condotti i campionamenti in contraddittorio, finalizzati alla determinazione dei parametri sito specifici, necessari all'elaborazione dell'Analisi di Rischio, per i quali è richiesta la validazione da parte di Arpa.

Le indagini sono state eseguite allo scopo di investigare con maggior accuratezza le sorgenti secondarie già individuate (cfr. modello concettuale del sito al Capitolo 5) nei terreni e le conseguenti criticità nelle acque di falda, alle differenti profondità, al fine di meglio indirizzare e localizzare gli interventi di bonifica previsti e descritti nelle successive sezioni.

A tale scopo sono state eseguite le seguenti indagini:

- Verifica della presenza di materiali ferromagnetici nelle aree di indagine (Debombing);
- Esecuzione di prescavi a risucchio per i sottoservizi;
- Installazione di una rete di campionamento Soil Gas (Nesty Probe);
- Perforazione e installazione di 8 doppiette di piezometri;
- Prove SPT in avanzamento nel foro di sondaggio e prelievo di campioni indisturbati del livello di limo/argilla individuato tra 23 e 27m;
- Stendimento sismico MASW;
- Realizzazione di prove idrogeologiche in foro volte alla miglior conoscenza dei parametri idrogeologici degli orizzonti indagati;
- Realizzazione di prove sismiche per l'acquisizione delle informazioni utili alla progettazione delle opere civili per la bonifica;
- Campionamento delle matrici ambientali:
  - Terreni insaturi e saturi.
  - Acque di falda a vari livelli di profondità.
  - Soil Gas.
- Analisi delle matrici ambientali campionate:
  - Analisi chimiche sui terreni insaturi e saturi, sulle acque di falda e soil gas per la determinazione delle concentrazioni dei contaminanti indice.
  - Analisi chimiche e granulometriche su campioni di terreno volti alla definizione dei parametri sito specifici necessari per l'elaborazione dell'Analisi di Rischio sito specifica.

- Determinazione dei coefficienti di partizione  $K_d$  sito specifici necessari per l'elaborazione dell'Analisi di Rischio.
- Realizzazione del test di cessione sui materiali di riporto per la valutazione della modalità di gestione degli stessi.
- Analisi geotecniche ai fini della progettazione impianti e sistemi di bonifica.

L'ubicazione delle indagini eseguite è riportata nella Tavola 2 fuori testo.

## 4.1. Indagini ambientali di suolo, sottosuolo e acque sotterranee

### 4.1.1. Indagine strumentale per la valutazione del rischio bellico

Al fine di consentire una corretta valutazione del rischio bellico (VRB) residuale nell'area di progetto e permettere l'esecuzione in sicurezza delle indagini previste, in ottobre 2018 è stata condotta un'analisi documentale sul sito, seguita da una campagna di misure geofisiche all'interno dello stabilimento Caffaro. Le indagini si sono svolte in corrispondenza di piazzole di area 5m x 5m nell'intorno dei sondaggi di futura realizzazione. L'obiettivo delle indagini è stata la mappatura di strutture sepolte/sottoservizi e l'individuazione di eventuali oggetti metallici di interesse ai fini della VRB.

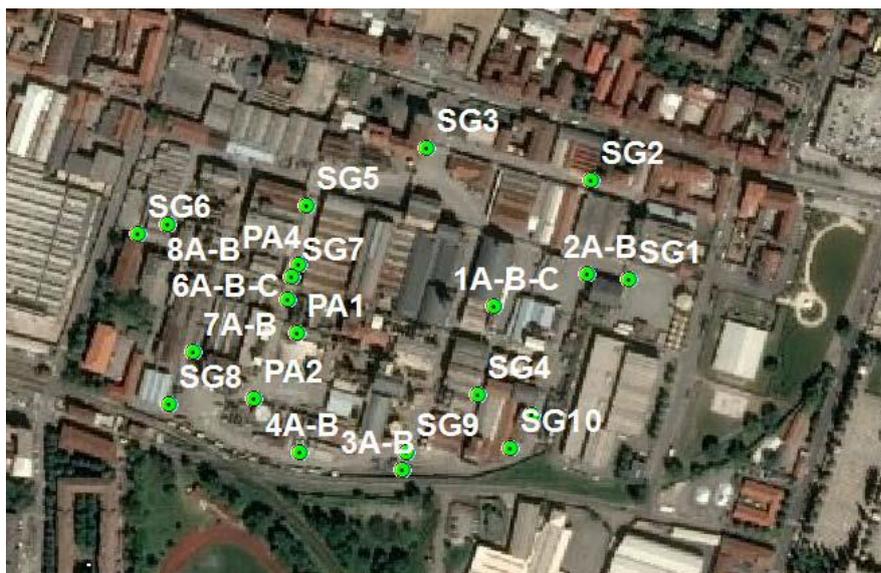


Figura 14: Indagine strumentale per la valutazione del rischio bellico – Immagine satellitare dell'area in esame con ubicazione dei punti di indagine

Le tecniche di prospezione geofisica messe in atto sono state:

- rilievo georadar a copertura totale con sistema GPR multicanale IDS STREAM X;
- rilievo gradiometrico a copertura totale con sistema Gem System GSM-19;
- rilievo topografico per la georeferenziazione delle misure geofisiche con strumentazione satellitare sistema GNSS Trimble R8S. La combinazione delle differenti tipologie di rilievo ha consentito di individuare la posizione più idonea per l'esecuzione dei sondaggi previsti.

La relazione tecnica delle attività svolte è riportata in All. 5.

#### 4.1.2. Prescavi

Successivamente alle misure geofisiche è stata eseguita un'apposita procedura finalizzata alla localizzazione ed identificazione delle fasce di tolleranza dei servizi sotterranei attraverso l'utilizzo di prescavi.

Sono stati realizzati **29** prescavi fino alla profondità di 1,5-2m da p.c. utilizzando escavatori a risucchio così distribuiti:

- 10 nei quali sono stati realizzati i punti di prelievo Soil Gas (Nesty Probe);
- 19 in corrispondenza dell'ubicazione nelle quali sono stati realizzati i nuovi piezometri;

Dalle 10 postazioni eseguite per l'installazione delle sonde nesty probe, sono stati prelevati 10 campioni di terreno/riporti da sottoporre al test di cessione sui materiali di riporto per la valutazione della modalità di gestione degli stessi.

#### 4.1.3. Soil Gas Survey

Al fine di ottenere informazioni in merito alla concentrazione dei contaminanti indice del sito nella matrice soil gas è stata realizzata una rete di Nesty Probe, per il monitoraggio dei gas interstiziali.

In particolare sono stati realizzati **10** punti di monitoraggio Soil Gas distribuiti in maniera omogenea ( Tav. 2a).

Le sonde Nesty Probe sono state installate con il tratto filtrante (di lunghezza pari a 30cm circa) ad una quota compresa tra 1m e 2m. Ogni postazione è stata corredata con chiusino carrabile a protezione dell'opera stessa.

#### 4.1.4. Sondaggi e Piezometri

Allo scopo di prelevare campioni di terreno e acque di falda alla medesima profondità, sono state realizzate 8 doppiette di piezometri (Tav. 2a) ubicate in corrispondenza dei principali nuclei di contaminazione individuati sulla base del modello concettuale del sito.

Ogni doppietta è costituita da un piezometro profondo 80m e da un piezometro superficiale/intermedio m da p.c. Entrambi i piezometri sono stati allestiti con tubo piezometrico in PVC di diametro interno pari a 4" e sono stati fenestrati a diverse profondità per permettere il campionamento delle acque di falda a differenti livelli.

Il piezometro profondo è stato realizzato a carotaggio continuo per permettere:

- un'adeguata ricostruzione stratigrafica del sottosuolo;
- il campionamento dei terreni insaturi e saturi;
- la realizzazione di prove SPT in foro;
- la realizzazione di prove Lefranc in avanzamento.

In particolare per ogni piezometro sono state eseguite le seguenti attività:

- prelievo di **8** campioni di terreno (4 nei terreni insaturi e 4 nei saturi);
- esecuzione di **3** prove Lefranc.

Su ogni sondaggio si è proceduto con:

- 7 prove SPT (1 prova ogni 3 m nei primi 21 m di profondità);
- il prelievo di campioni indisturbati dal livello fine coesivo presente a circa 25 m di profondità.

I piezometri superficiali/intermedi invece sono stati realizzati a distruzione di nucleo mediante rotopercolazione con martello di fondo foro e rivestimento a seguire fino alla profondità di circa **40 m** da p.c.

Su tre aree specifiche (Tav. 2a), in corrispondenza delle quali si prevedono interventi di bonifica in situ dei suoli profondi, le doppiette realizzate sono state integrate con l'installazione di un piezometro aggiuntivo profondo circa 30m da p.c. e fenestrato in corrispondenza del livello limoso fine presente approssimativamente tra 23 e 25m da p.c. oltre che nei primi metri dell'orizzonte saturo. Tutti i piezometri sono stati ultimati mediante chiusino carrabile a protezione dell'opera stessa. Le stratigrafie e gli schemi costruttivi dei piezometri realizzati sono riportati in Allegato 14.

Al termine delle operazioni è stato realizzato uno spurgo dei piezometri e un rilievo plani altimetrico dei nuovi piezometri atto definire le quote di bocca pozzo. Tale rilievo ha permesso di rilevare anche le quote di bocca pozzo dei piezometri già esistenti al fine di permettere una corretta correlazione tra le quote piezometriche dell'intera rete di monitoraggio.

#### 4.1.5. Indagini Sismiche

Allo scopo di definire la sismostratigrafia e morfologia sepolta dei terreni indagati, i dati di letteratura disponibili per l'area sono stati integrati attraverso una campagna di indagine geofisica di sismica superficiale attiva. Al fine di identificare la sismo-stratigrafia dei primi 30m di profondità all'interno dello stabilimento Caffaro, è stata eseguita una campagna attraverso la combinazione di due tecniche superficiali attive: sismica a rifrazione in onde longitudinale e indagine MASW (Multichannel Analysis of Seismic Waves) in configurazione ZVP e RVP per la definizione delle velocità delle onde S, la determinazione del valore di VS30 e la relativa categoria di sottosuolo (secondo D.M. 14/01/08). Modalità esecutive e risultati conseguiti sono riportati in All. 6.

#### 4.1.6. Prove idrogeologiche in foro (Lefranc)

Le prove idrogeologiche in foro sono state eseguite al fine di stimare la conducibilità idraulica nel tratto investigato, la cui lunghezza varia tra i 0,3 e i 0,7 metri nei casi in esame.

Le prove sono state eseguite in zona satura tramite la metodologia a carico variabile, cioè inducendo un innalzamento della superficie piezometrica tramite l'immissione di un volume di acqua e la successiva misura dell'andamento del livello idrico al variare del tempo tramite l'utilizzo di un freatometro.

Nel corso di 14 indagini su un totale di 24, il livello idrico nel corso della prova si è abbassato ad una velocità tale che non è stato possibile rilevare e, successivamente, interpretare i dati. Tale informazione rappresenta comunque un dato qualitativo sul valore della conducibilità idraulica del tratto investigato, indicando valori medio alti.

Per le restanti 10 prove, i dati rilevati sono stati interpretati tramite una formula empirica (AGI, 1977), che ha permesso di identificare un valore di conducibilità idraulica medio per ogni tratto investigato.

La Tabella 8 mostra nel dettaglio gli intervalli investigati dalle indagini eseguite e, dove possibile, la conducibilità idraulica interpretata. In All. 8 sono presenti i grafici raffiguranti i dati rilevati per ognuno degli intervalli interpretati.

**Tabella 8: Sintesi dei risultati ottenuti dalle prove idrogeologiche in foro.**

<b>Sondaggio</b>	<b>Intervallo investigato [m da p.c.]</b>	<b>Conducibilità idraulica interpretata [m/s]</b>
MW1	29 - 29,3	1.3E-06
MW1	43 - 43,3	3.6E-07
MW1	79,7 - 80	NA
MW2	30,5 - 31	2.0E-06
MW2	43 - 43,5	2.3E-07
MW2	54,6 - 55	NA
MW3	31 - 31,5	1.5E-06
MW3	53,6 - 54	NA
MW3	79,4 - 80	NA
MW4	34 - 34,4	1.2E-06
MW4	50,5 - 51	NA
MW4	79,6 - 80	NA
MW5	29,4 - 29,7	NA
MW5	48,6 - 49	NA
MW5	79,6 - 80	NA
MW6	29,5 - 30	4.0E-07
MW6	40 - 40,5	NA
MW6	70,3 - 70,6	NA
MW7	29,5 - 30	5.3E-06
MW7	45,5 - 46	1.9E-06
MW7	77,3 - 78	NA
MW8	31,5 - 32	1.5E-06
MW8	57,6 - 58	NA
MW8	79,6 - 80	NA

## 4.2. Campionamento ed analisi terreni

Il prelievo di ulteriori campioni eseguito in corrispondenza delle matrici ambientali interessate dalla contaminazione ha avuto lo scopo di investigare, con maggior dettaglio, i livelli contaminati già identificati nel modello concettuale del sito redatto da NCE (*"Analisi delle concentrazioni dei contaminanti presenti nel sottosuolo dello stabilimento Caffaro di Brescia e Modello Concettuale Definitivo dello Stabilimento"* (NCE - Maggio 2006), al fine di indirizzare meglio e dimensionare gli interventi di bonifica selezionati.

Le operazioni di campionamento dei **terreni** sono state eseguite in conformità a quanto previsto dall'Allegato 2 alla Parte IV del Titolo V del D.Lgs 152/06.

Da ogni sondaggio profondo sono stati prelevati 8 campioni di terreno per un totale di **64** campioni. Dalle 10 verticali di scavo eseguite mediante escavatore a risucchio per l'installazione delle sonde Nesty Probe, sono stati prelevati **10** campioni di terreno sottoposti ad analisi di laboratorio per la determinazione dei contaminanti indice del sito.

Il personale tecnico Arpa ha seguito le attività di campionamento e prelevato in totale n. 3 campioni di terreno insaturo per ciascun sondaggio (verbali di campionamento in All. 9).

In totale sono stati prelevati **74** campioni di terreno inviati a laboratorio di analisi per la determinazione dei seguenti parametri:

- Arsenico,
- Mercurio
- Cromo totale
- Cromo esavalente VI
- Piombo,
- Rame
- Composti Alifatici Clorurati Cancerogeni
- Composti Alifatici Clorurati Non Cancerogeni
- Fitofarmaci
- PCB, PCN e PCT
- Sommatoria PCDD/PCDF

Su **7** dei 74 campioni è stato eseguito il test di Cessione per la determinazione del parametro Kd – Coefficiente di partizione suolo acqua. La scelta dei campioni da sottoporre a tale determinazione è stata eseguita tra i campioni che hanno evidenziato la non conformità alle CSC previste per il sito in oggetto per i metalli ricercati. La determinazione di tale parametro, mai ricercato nelle fasi di indagine già svolte, ha permesso la predisposizione dell'analisi di rischio sito specifica del sito.

Per ogni verticale di indagine, 3 campioni sono stati sottoposti alla definizione dei parametri sito specifici per l'elaborazione dell'Analisi di Rischio sito specifica. Sulle verticali MW1, MW3 e MW5

sono stati presi invece 4 campioni per un totale di **27** campioni che sono stati prelevati dai seguenti orizzonti:

- primo metro
- terreno insaturo profondo
- terreno saturo.

I suddetti campioni sono stati inviati al laboratorio per la determinazione di:

- pH.
- Foc
- Granulometria.

Come anticipato al paragrafo 4.1.2 sono stati prelevati **10** campioni di materiale di riporto da sottoporre al test di cessione sui riporti per la valutazione della modalità di gestione degli stessi. (Disciplina semplificata delle Terre e Rocce da scavo, D.P.R. 120/2017).

#### **4.3. Test di cessione materiali di riporto**

Relativamente ai test di cessione condotti i risultati, sintetizzati in Tab. 1 fuori testo, evidenziano la non conformità dei materiali di riporto testati per la maggior parte dei campioni analizzati.

#### **4.4. Campionamento ed analisi geotecniche**

Relativamente alle analisi geotecniche, i campioni indisturbati di **terreno**, prelevati dal livello fine coesivo posto a circa 28m di profondità, in corrispondenza del sondaggio MW2 80, unitamente a 6 campioni rimaneggiati, sono stati inviati a laboratorio geotecnico e si è proceduto alle prove di laboratorio per la determinazione di granulometria secondo classificazione AGI e ASTM, Limiti di Atterberg, indice di plasticità e indice di consistenza, prove edometriche e prove di permeabilità. I risultati delle prove sono descritti al paragrafo 4.7.4 e i certificati riportati in All. 13.

#### **4.5. Campionamento gas interstiziali**

Il campionamento dei **gas interstiziali** è stato preceduto da un adeguato tempo di riequilibrio delle condizioni naturali del sito. Il campionamento è stato eseguito in contraddittorio con il personale tecnico ARPA Brescia (verbali in All.9), mediante Canister al fine di permettere l'analisi mediante metodica EPA TO-15 dell'intero spettro di composti volatili (VOC). Inoltre si è proceduto all'utilizzo di fiale apposite e pompa di aspirazione a basso flusso per la determinazione del mercurio volatile.

Prima del prelievo dei gas, si è provveduto ad effettuare lo spurgo a basso flusso (0,44 l/min) del sistema di monitoraggio fisso e prove di tenuta per verificare eventuali presenze di perdite. Successivamente, tramite strumentazione di campo (PID ed Infrared), sono stati effettuati i rilievi per la determinazione dei parametri VOC, O<sub>2</sub>; CO<sub>2</sub>; CH<sub>4</sub> (cfr. Tab. 3 Fuori testo).

Il campionamento ha previsto il prelievo dei gas interstiziali dai nesty probes presenti in sito, denominati da SG1 a SG9 (Tav. 2a). Non è stato possibile campionare la sonda SG10 per presenza di elevata umidità di condensa nella sonda.

In totale sono stati prelevati **n. 9 campioni soil gas** per le analisi di laboratorio.

#### 4.6. Campionamento ed analisi acque di falda

Il campionamento nei piezometri di nuova realizzazione è stato condotto mediante l'utilizzo di doppio packer e pompa a basso flusso per poter permettere il prelievo selettivo a profondità diverse. Per ogni profondità è stato prelevato un campione in più aliquote di acqua di falda da sottoporre ad analisi.

Il campionamento dai piezometri già esistenti in sito è stato invece eseguito mediante pompa a basso flusso al fine di prelevare campioni a differenti quote.

Infine è stato prelevato un campione di acque per ogni pozzo industriale attivo in sito.

In particolare sono stati campionati ed inviati ad analisi un totale di **78** campioni così suddivisi:

- n. 5-6 campioni da ogni doppietta di piezometri multi level per un totale di 42 campioni;
- n. 1 campione di acqua da ciascuno dei 3 piezometri aggiuntivi realizzati in prossimità delle doppiette multi level, per un totale di 3 campioni;
- n. 3 campioni di acqua da ognuno dei seguenti piezometri già esistenti per un totale di 24 campioni: Pz1 (80m), Pz2 (80m), Pz3 (80m), Pz4 (80m), Pz5 (80m), Pz6 (80m), Pz7 (80m), Pz8 (50m);
- n. 2 campioni di acqua da ognuno dei seguenti piezometri già esistenti per un totale di 4 campioni: Pz9 (40m), Pz10 (40m);
- 1 campione di acqua da ognuno dei pozzi industriali attivi per un totale di 5 campioni.

I campioni di acque di falda sono stati inviati al laboratorio di analisi per la determinazione dei seguenti parametri:

- Arsenico
- Mercurio
- Cromo totale
- Cromo esavalente VI
- Piombo
- Rame
- Composti Alifatici Clorurati Cancerogeni e Non Cancerogeni
- Fitofarmaci
- PCB, PCN e PCT
- Sommatoria PCDD/PCDF

## 4.7. Sintesi dei risultati

### 4.7.1. Risultati terreni

Come descritto al Capitolo 4.2, per ogni verticale di indagine effettuata a carotaggio continuo, sono stati prelevati rispettivamente 4 campioni nell'orizzonte insaturo e 4 nell'orizzonte saturo per essere sottoposti a determinazioni analitiche.

I risultati analitici sono riportati in Tab. 2 fuori testo mentre i rapporti di prova sono presentati in All.13. Le risultanze di tali indagini sono state confrontate con le CSC previste nella Colonna B - Tab 1 - Allegato 5 – Parte IV del D. Lgs. 152/06 (CSC per uso commerciale/Industriale).

I risultati ottenuti confermano la presenza di superamenti delle CSC di riferimento nei terreni più superficiali, distribuiti ubiquitariamente sull'intero sito, in linea con quanto evidenziato dalle indagini di caratterizzazione pregresse. In particolare si registrano superamenti per i contaminanti indice del sito: As, Hg e Cu per i metalli e sporadici superamenti per fitofarmaci, PCB e Diossine prevalentemente nel primo metro.

Solamente in corrispondenza di due sondaggi, la contaminazione riscontrata risulta estesa lungo tutto l'orizzonte insaturo indagato (specificatamente As in MW5 e PCB in MW7).

### 4.7.2. Risultati gas interstiziali

L'indagine svolta ha permesso di determinare le effettive concentrazioni di gas interstiziali presenti nell'immediato sottosuolo del sito. I punti di monitoraggio SG1, SG8 e SG5 hanno evidenziato il maggior numero di concentrazioni massime per singoli parametri analizzati. I risultati hanno evidenziato concentrazioni significative per i composti clorurati particolarmente in corrispondenza dei punti d'indagine SG5 (Tetraclorometano - 2610  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e SG8 (Triclorometano - 1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

È stato inoltre rilevata la presenza di vapori di Mercurio in alcune sonde di monitoraggio. La massima concentrazione di mercurio è stata rilevata in prossimità della sonda SG9.

Nella Tab. 3 fuori testo vengono riportati i risultati analitici; i certificati sono raccolti in All. 13.

### 4.7.3. Risultati acque di falda

I risultati analitici evidenziano, in linea con i risultati dei monitoraggi idrochimici condotti periodicamente presso il sito da ARPA, eccedenze normative per i parametri sotto riportati.

#### Metalli → As, Cr totale, Cr VI, Hg

La distribuzione del parametro As evidenzia un singolo hot spot in corrispondenza del piezometro MW5, in linea con i superamenti riscontrati sulla stessa verticale d'indagine nei terreni insaturi e con il modello concettuale già definito per il sito.

Relativamente al CrVI, si rilevano concentrazioni eccedenti le CSC sostanzialmente in tutti i punti di monitoraggio, compresi i piezometri di monte idrogeologico; all'interno dello stabilimento si riscontra

tuttavia un picco di concentrazione nella porzione centrale del sito, in corrispondenza del piezometro PZ10.

Il parametro Hg presenta eccedenze in diversi piezometri di monitoraggio con concentrazioni massime rilevate nella porzione centrale del sito, in corrispondenza del PZ10.

#### PCB → PCB totali

Si rilevano eccedenze del limite normativo diffuse in tutto il sito, con valori massimi in corrispondenza della porzione S-W, particolarmente a carico del piezometro MW7.

#### Solventi clorurati → Triclorometano, Tetracloruro di Carbonio, 1,1-DCE, TCE, PCE, Somma Composti Organoalogenati, 1,2,3-Tricloro Propano, 1,1,2,2-Tetracloro Etano

Le analisi di laboratorio confermano la presenza di concentrazioni eccedenti per diversi composti organoalogenati in tutto il sito, anche nei piezometri ubicati a monte idrogeologico. All'interno dell'area dello stabilimento si riscontrano tuttavia picchi di concentrazione relativamente ai parametri Cloroformio (PZ5-PZ10) e Tetracloruro di Carbonio (MW6 ed MW7).

#### Fitofarmaci → $\alpha$ -Esaclorocicloesano, $\beta$ -Esaclorocicloesano, DDD-DDT-DDE, Dieldrin, Sommatoria Fitofarmaci

Si rilevano numerosi superamenti dei limiti normativi per i fitofarmaci particolarmente nella porzione meridionale dello stabilimento, particolarmente a carico del piezometro PZ8.

#### Diossine → PCDD-PCDF (I-TEQ Medium bound)

Si rilevano numerosi superamenti dei limiti normativi nella porzione centrale e meridionale dello stabilimento.

#### 4.7.3.1. Distribuzione spaziale della contaminazione

I grafici seguenti rappresentano le concentrazioni dei diversi contaminanti rilevate nei piezometri nuovi ed in quelli esistenti lungo tre transetti, perpendicolari al flusso regionale della falda, rispettivamente ubicati al confine a monte idrogeologico del sito (transetto Nord), al centro del sito (transetto centrale) e lungo il confine di valle idrogeologico (transetto Sud). Tale modalità di rappresentazione permette di visualizzare in modo immediato in quali casi le acque presentino già in ingresso al sito concentrazioni superiori alle CSC e in quali aree si possono ipotizzare apporti interni al sito.

Nel caso del Cromo esavalente e dei Composti Clorurati sono evidenti, in ingresso al sito, concentrazioni superiori alle CSC.

Procedendo verso valle idrogeologico, i grafici mettono in evidenza i contributi alla contaminazione delle acque sotterranee da parte delle sorgenti di contaminazione ubicate all'interno del sito, come nel caso dei metalli (As, Cr VI e Hg), che incidono maggiormente sulla qualità delle acque nella parte orientale del sito, dei solventi clorurati (Tetracloruro di Carbonio e Cloroformio), più evidenti nella

porzione centrale e di composti quali PCB e fitofarmaci, che incidono maggiormente nella porzione occidentale.

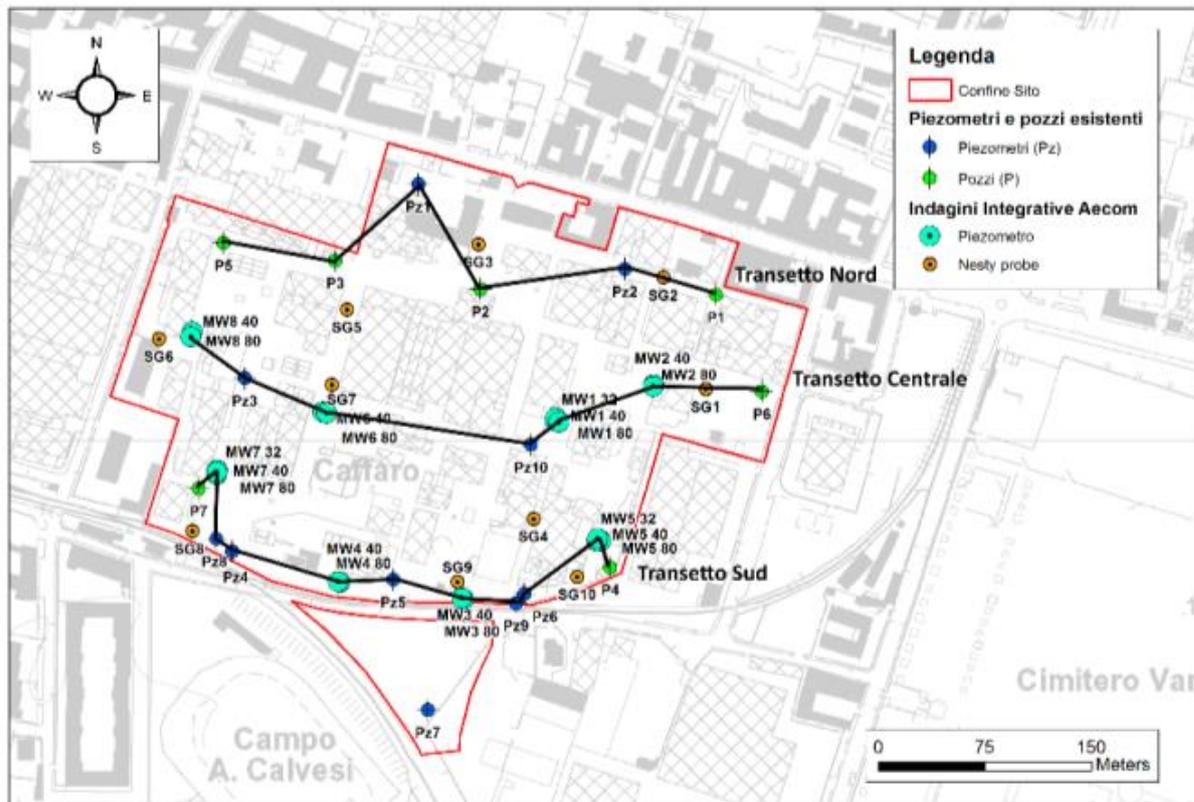


Figura 15: Indicazione dei transetti

I risultati delle elaborazioni sono presentati nelle figure sottostanti:

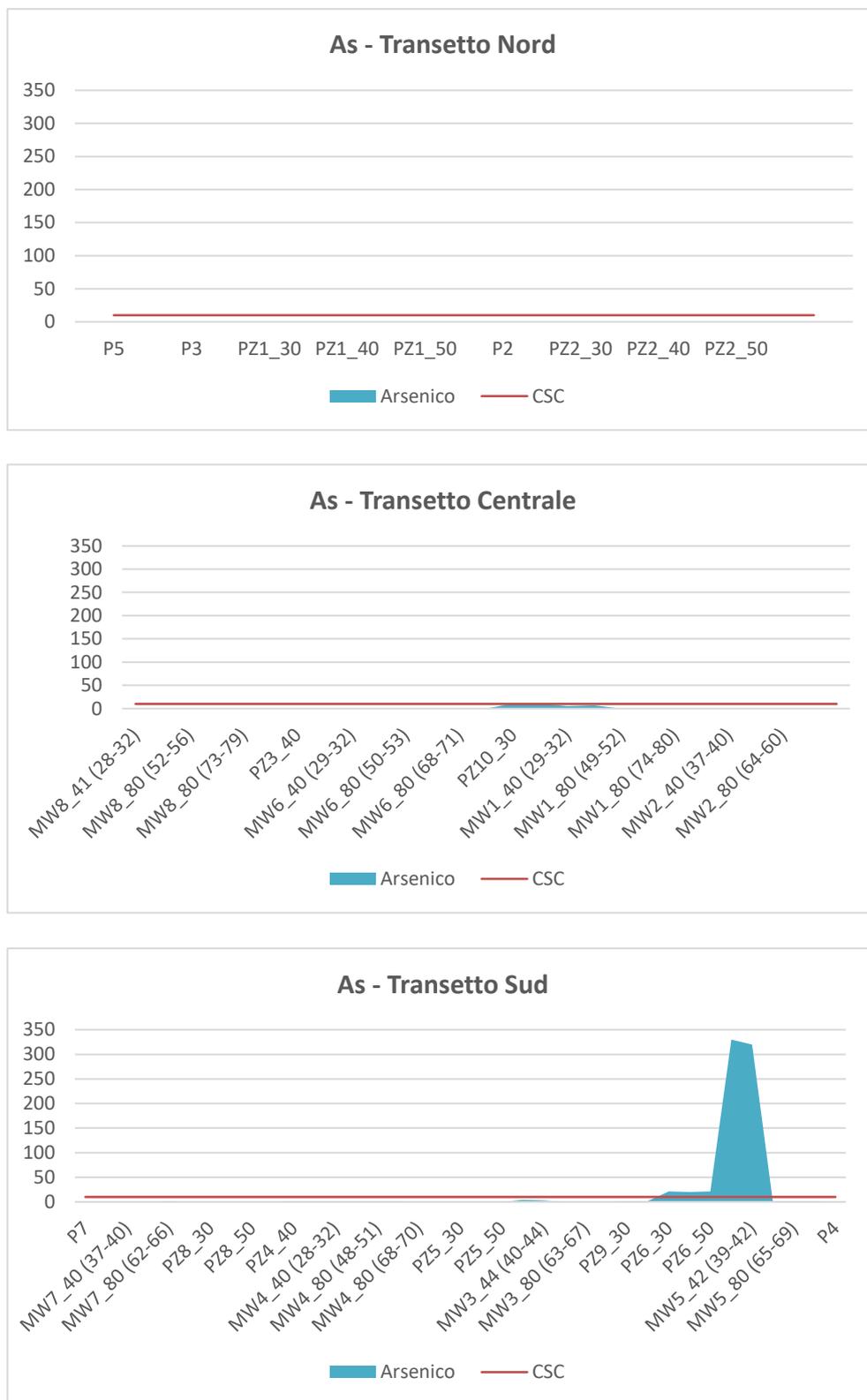


Figura 16: Transetti concentrazioni di As

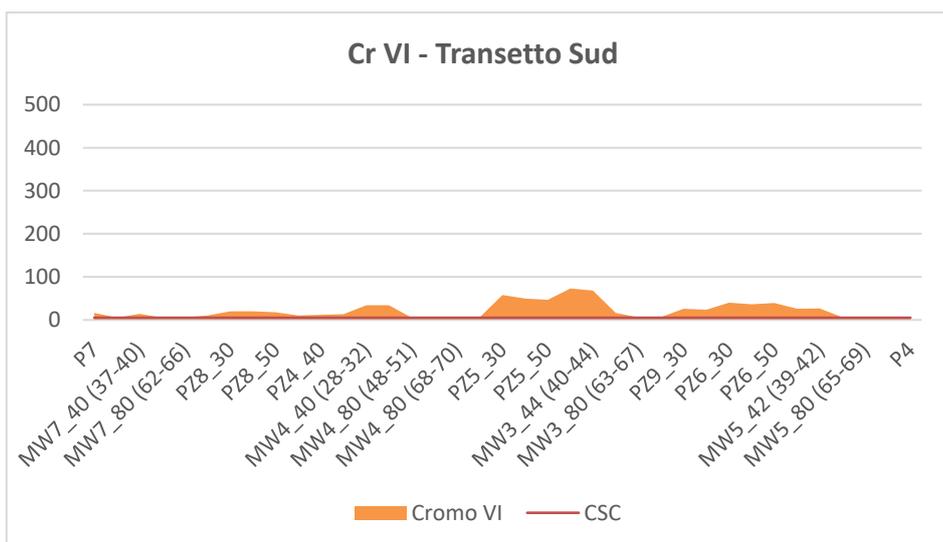
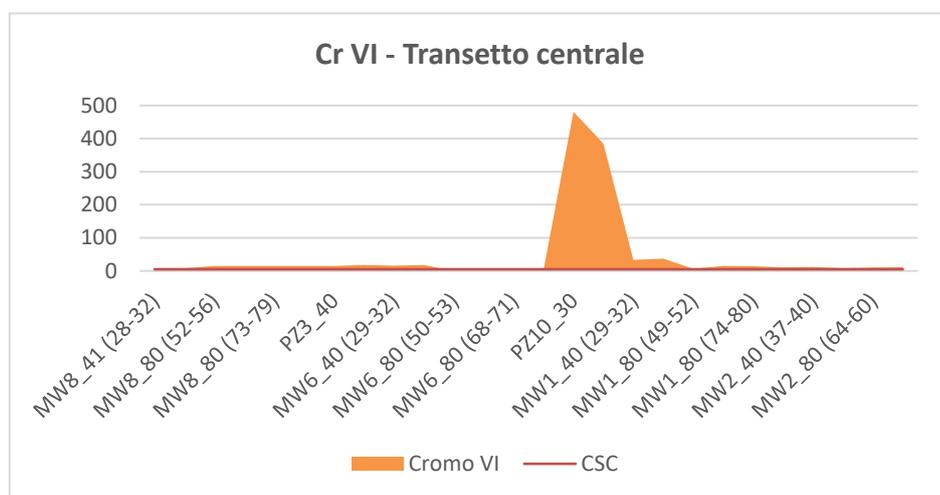
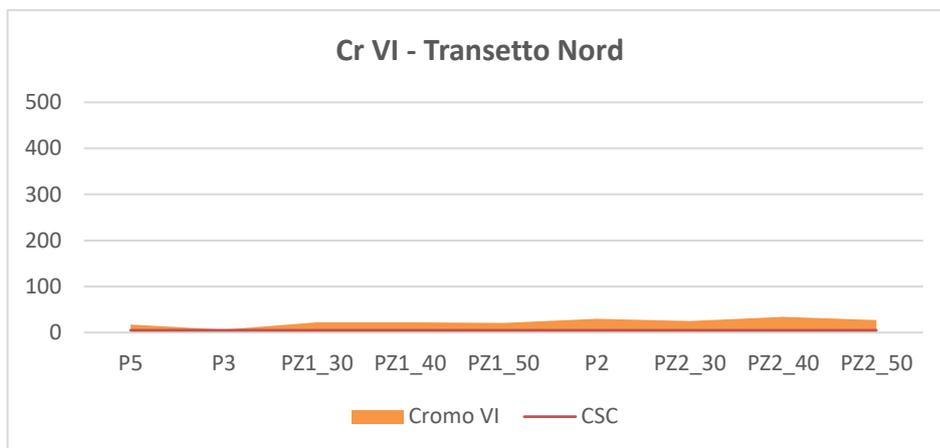


Figura 17: Transetti concentrazioni di CrVI

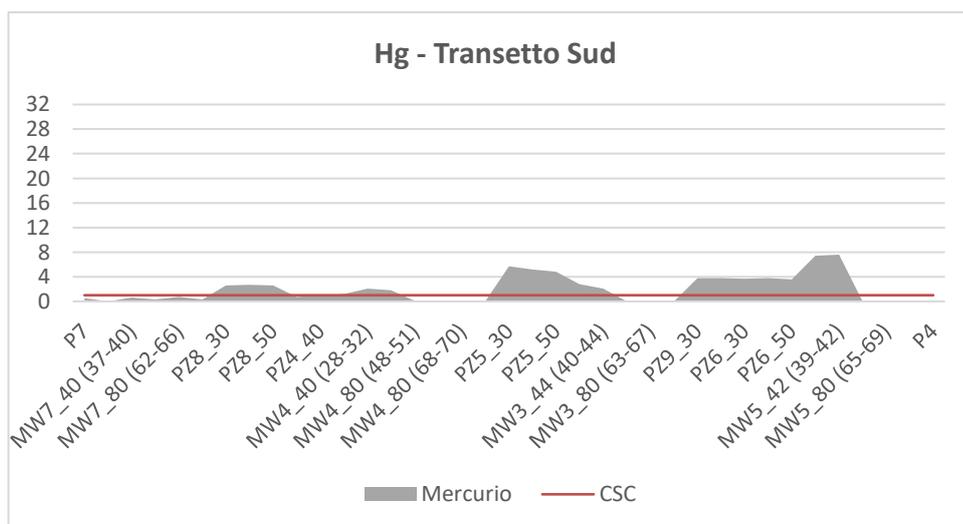
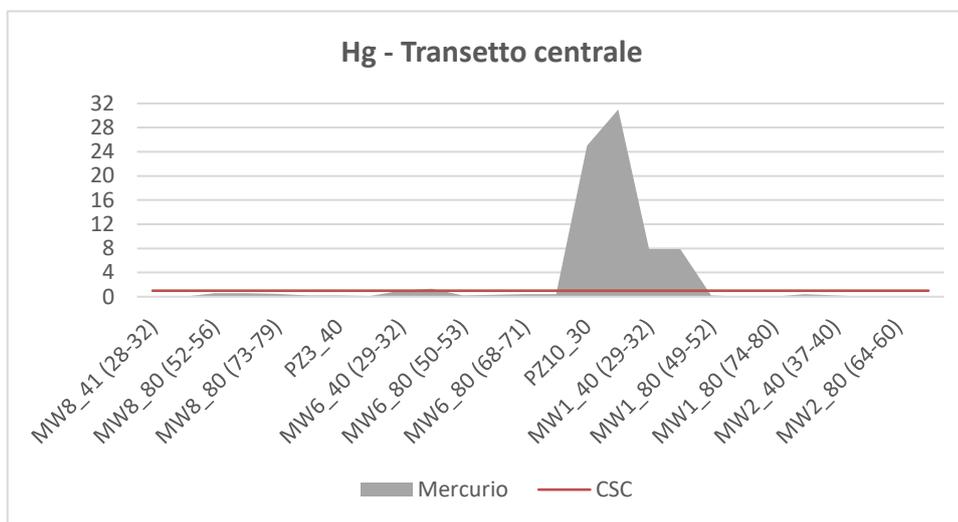
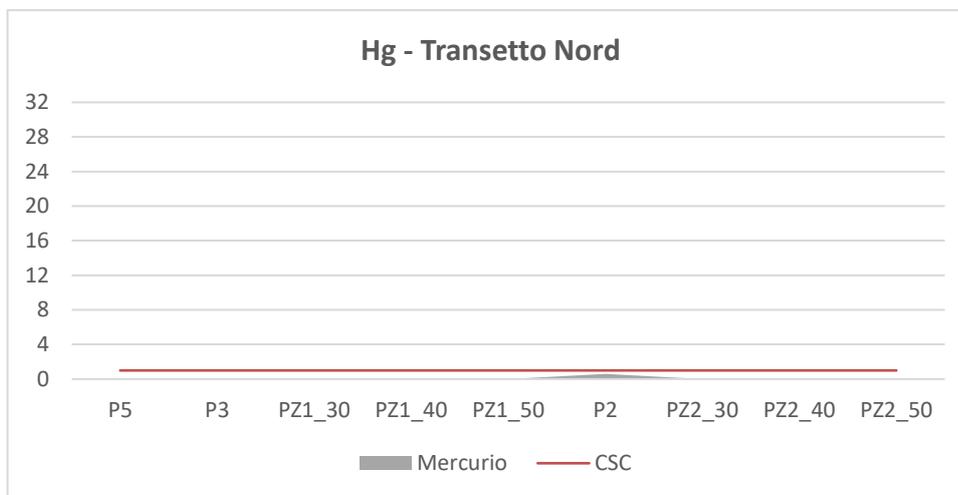


Figura 18: Transetti concentrazioni di Hg

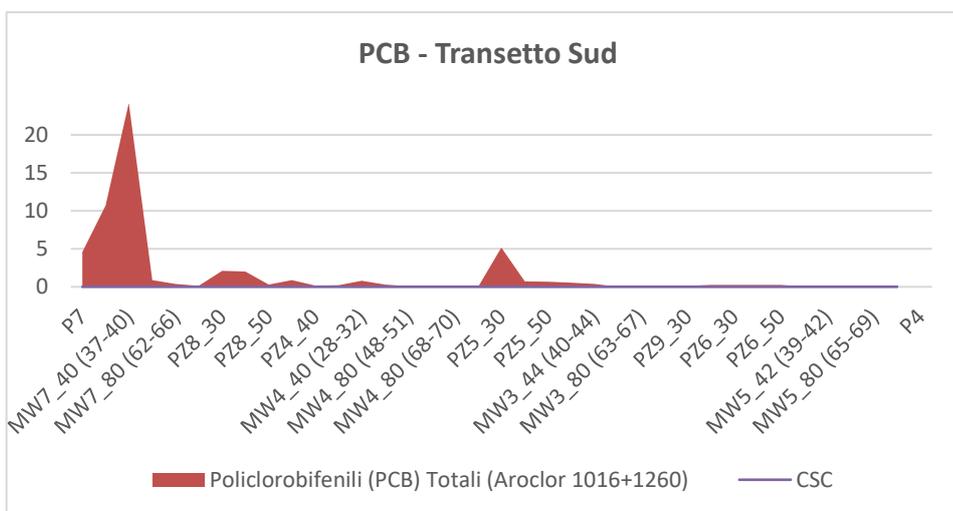
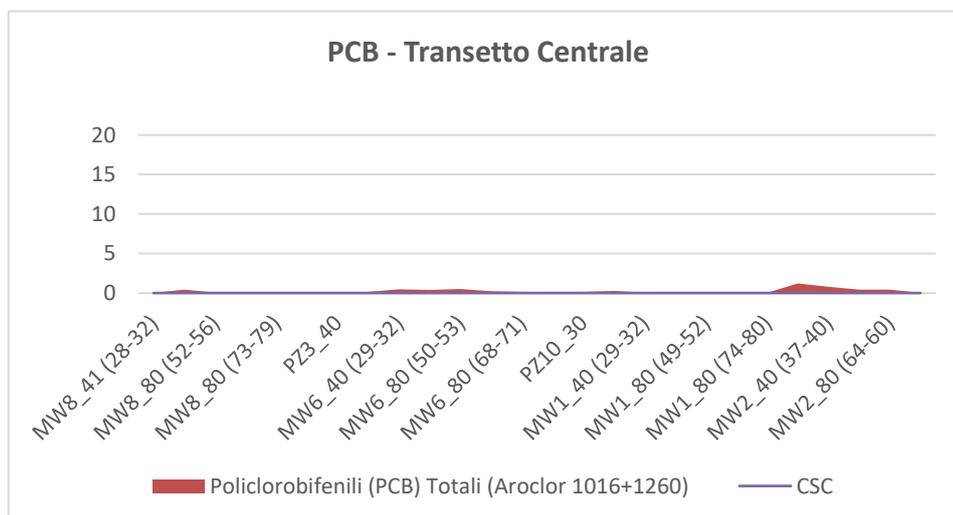
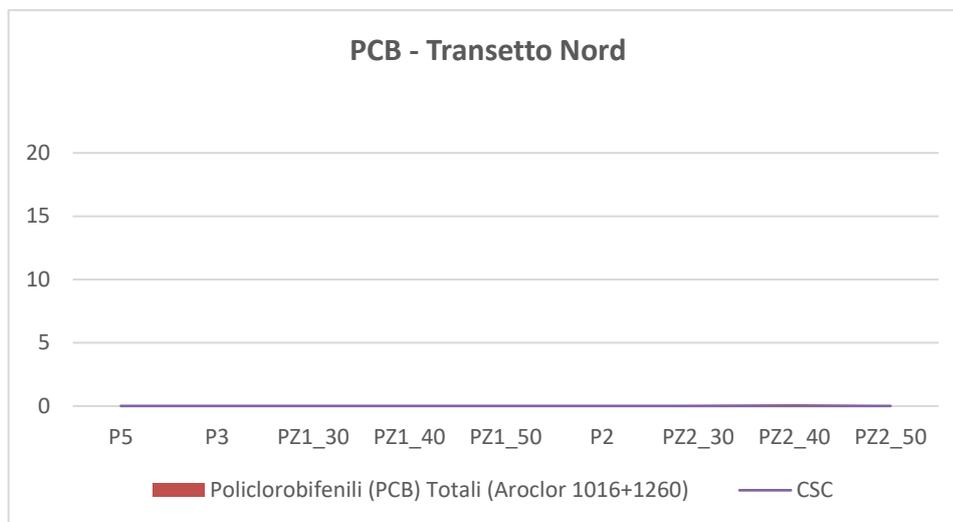


Figura 19: Transetti concentrazioni di PCB

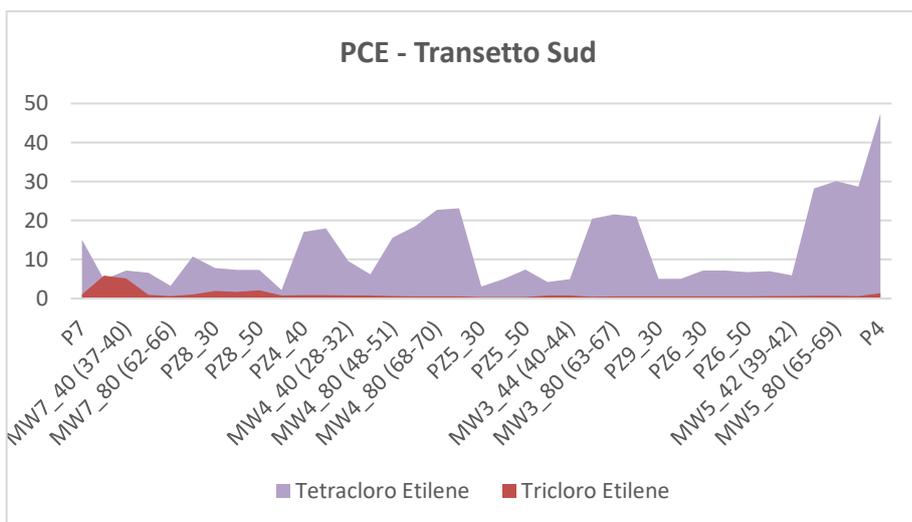
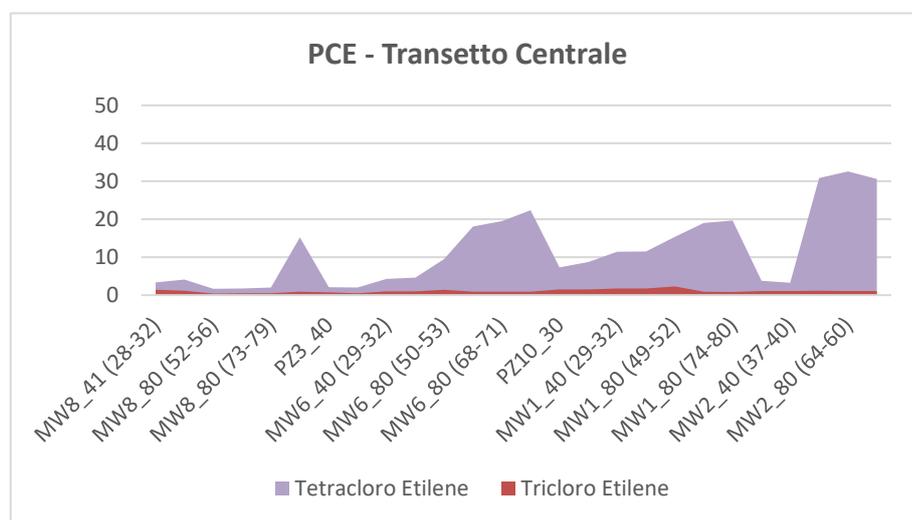
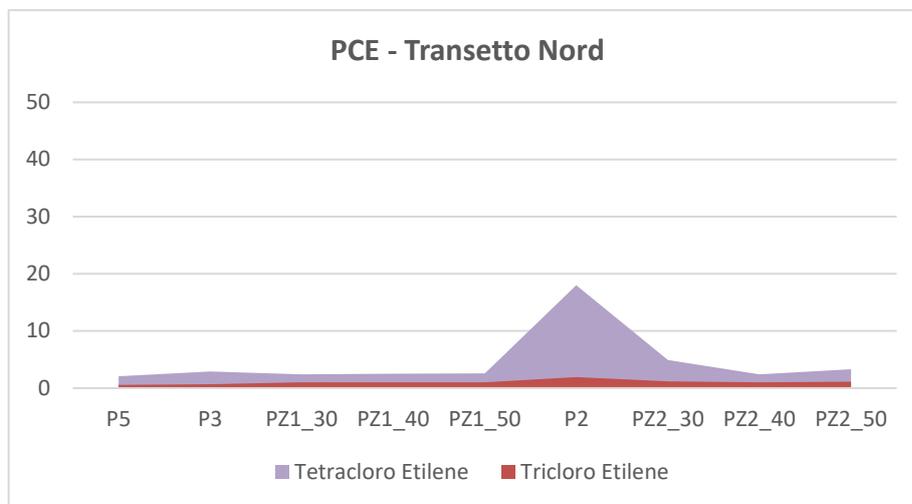


Figura 20: Transetti concentrazioni di PCE

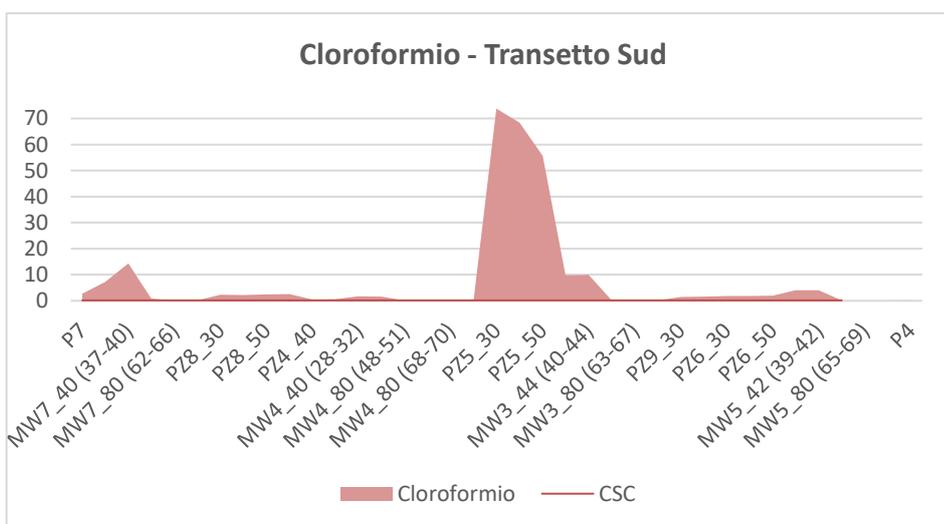
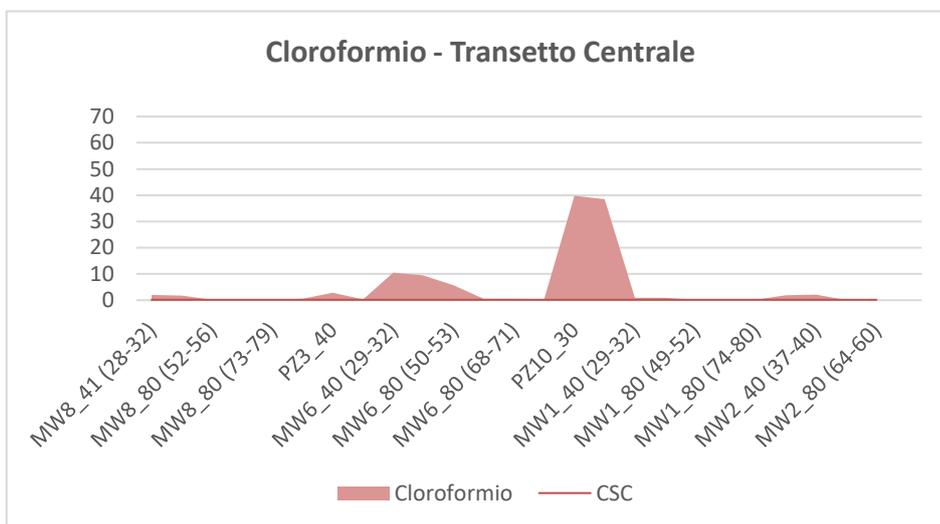
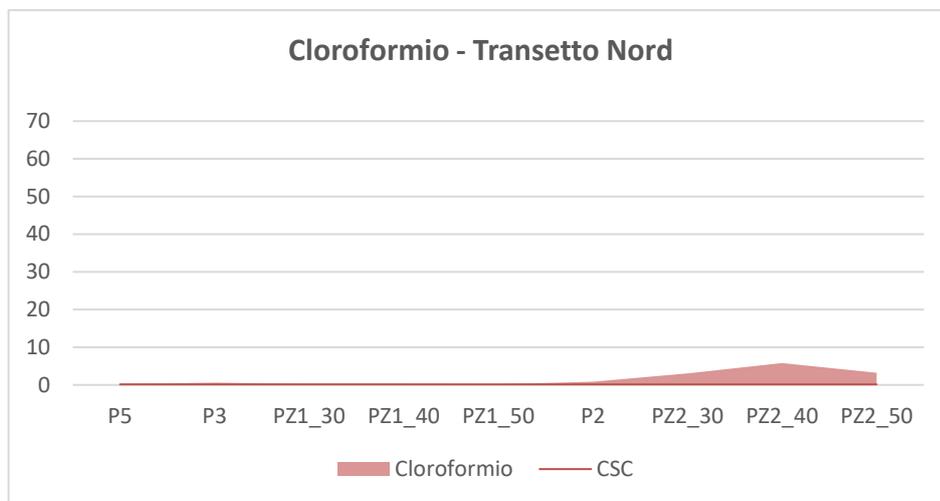


Figura 21: Transetti concentrazioni di Cloroformio

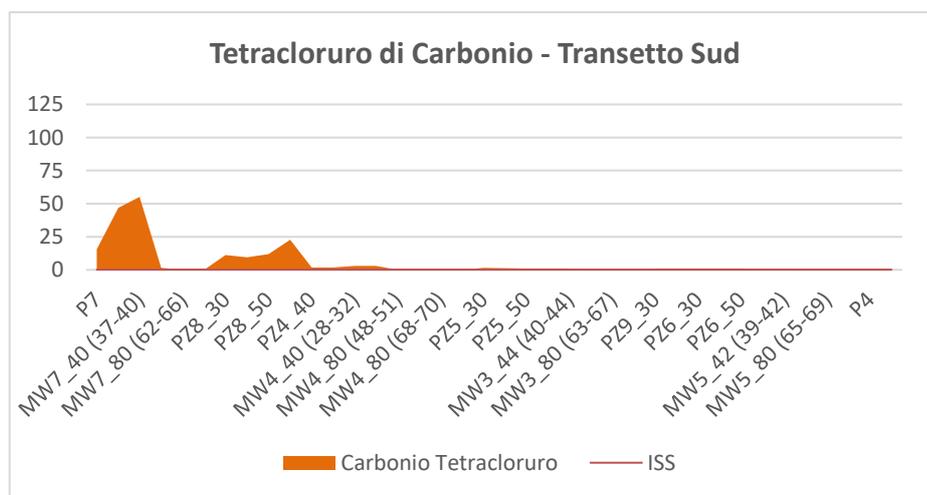
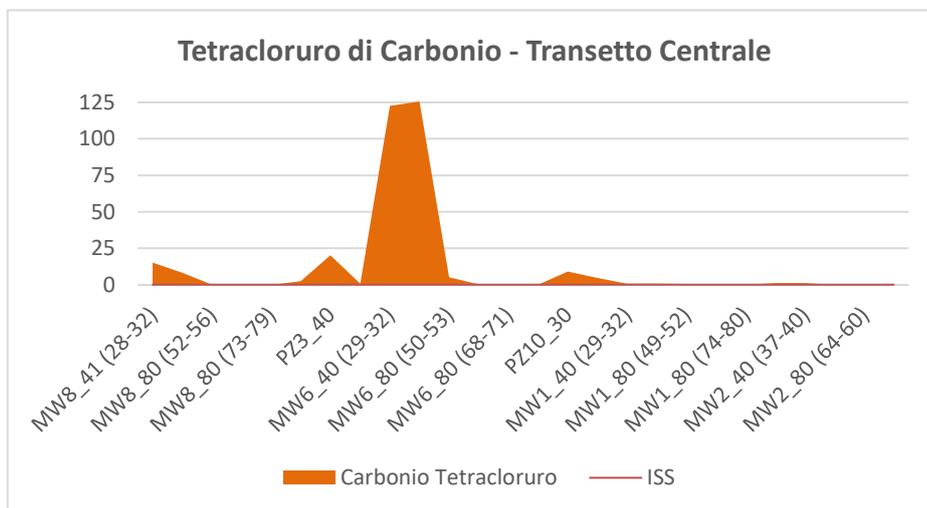
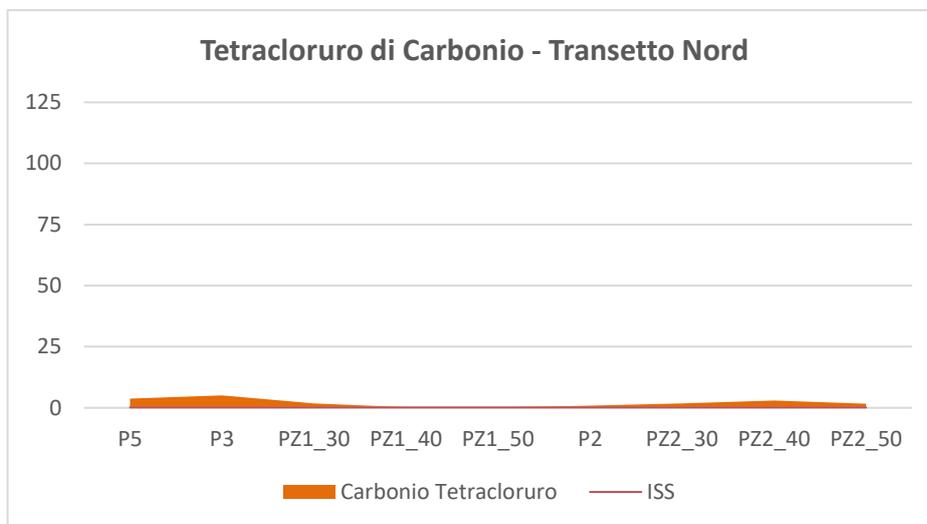
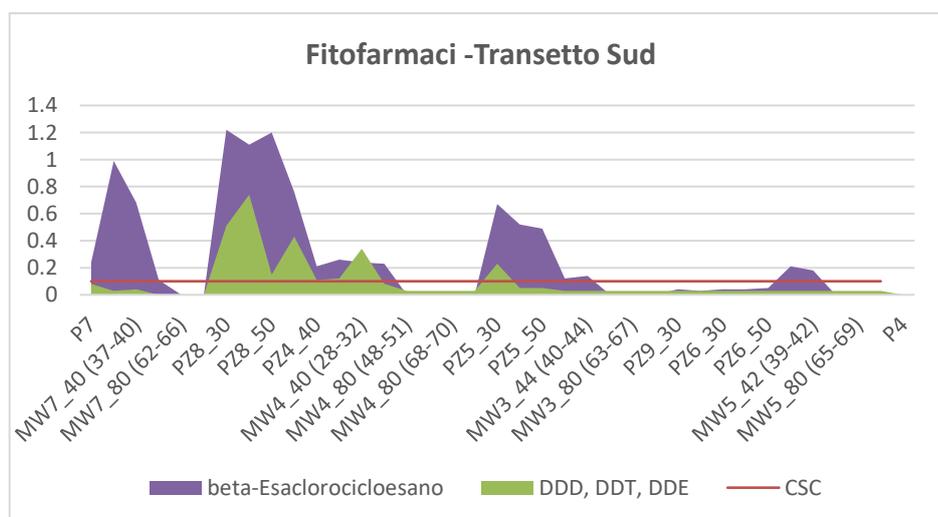
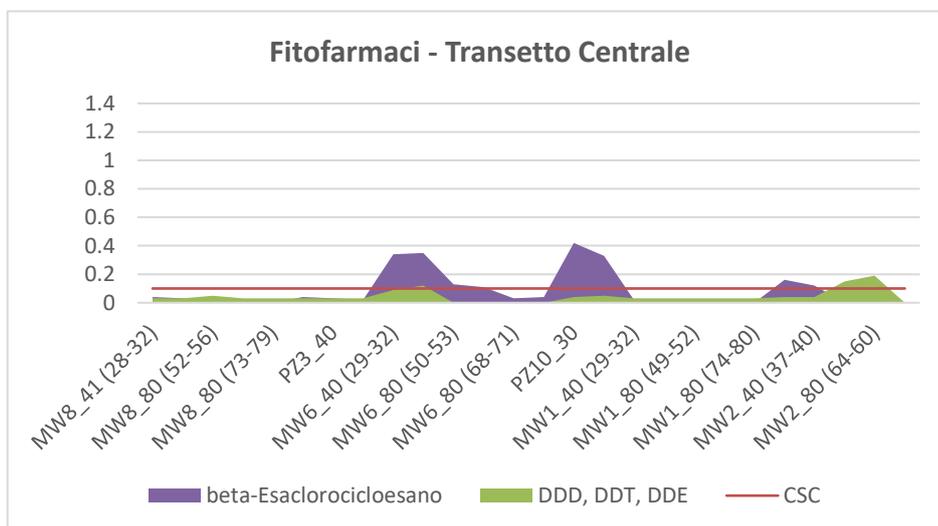
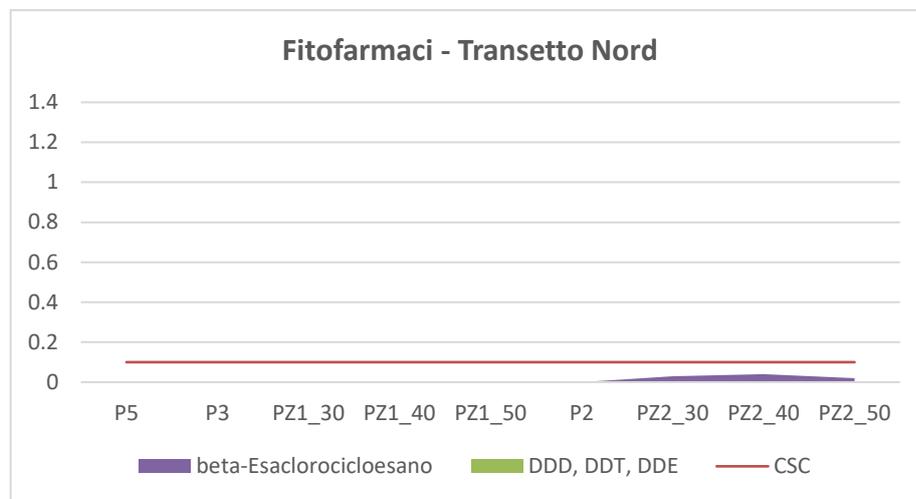


Figura 22: Transetti concentrazioni di Tetracloruro di carbonio



**Figura 23: Transetti concentrazioni di Fitofarmaci**

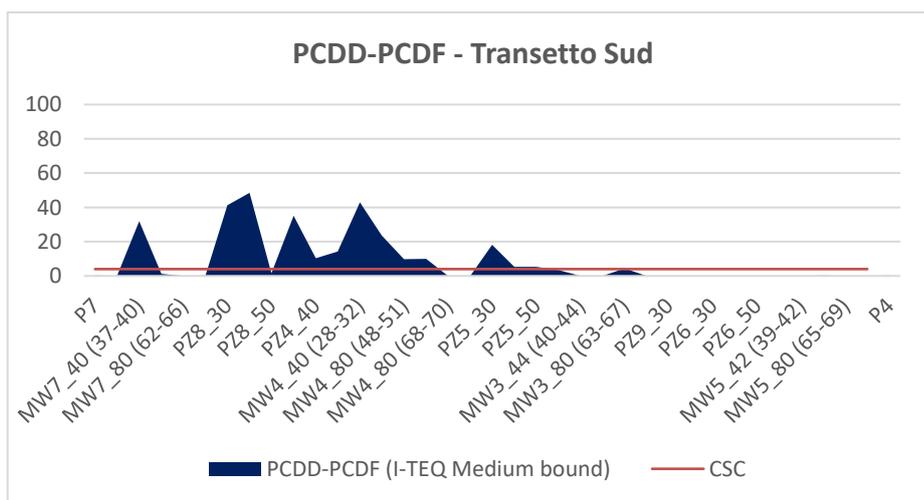
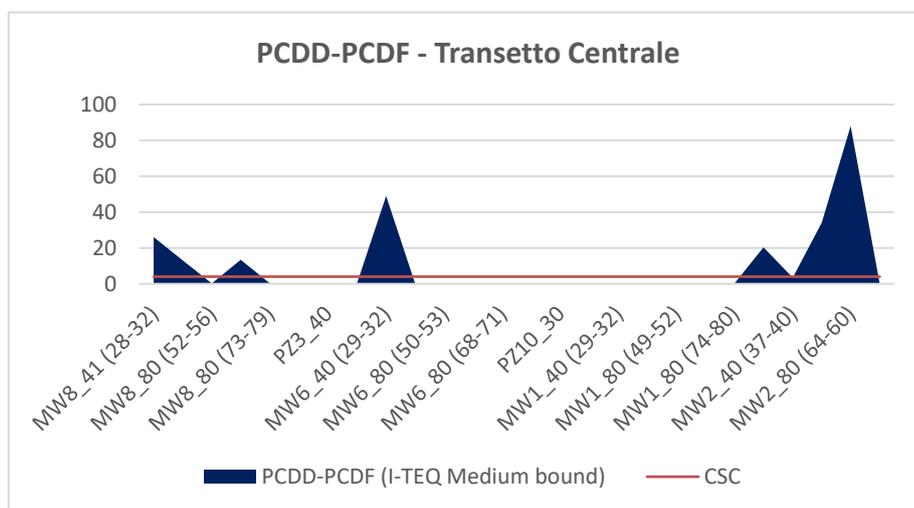
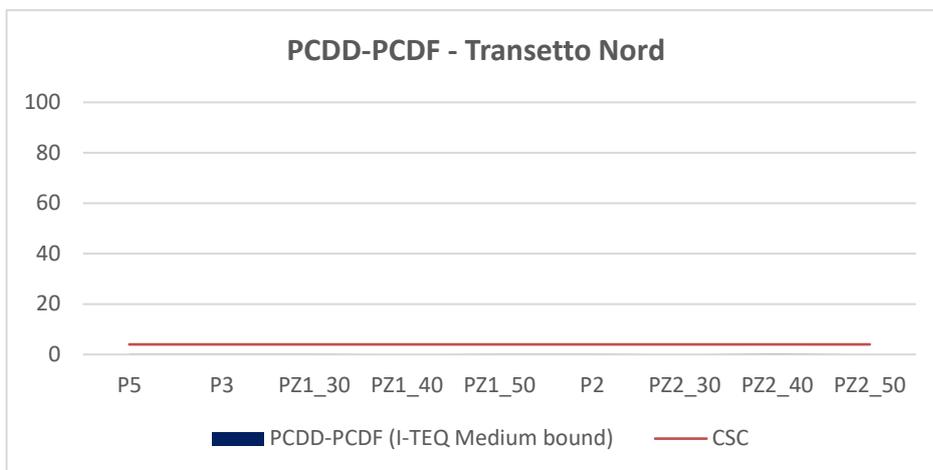


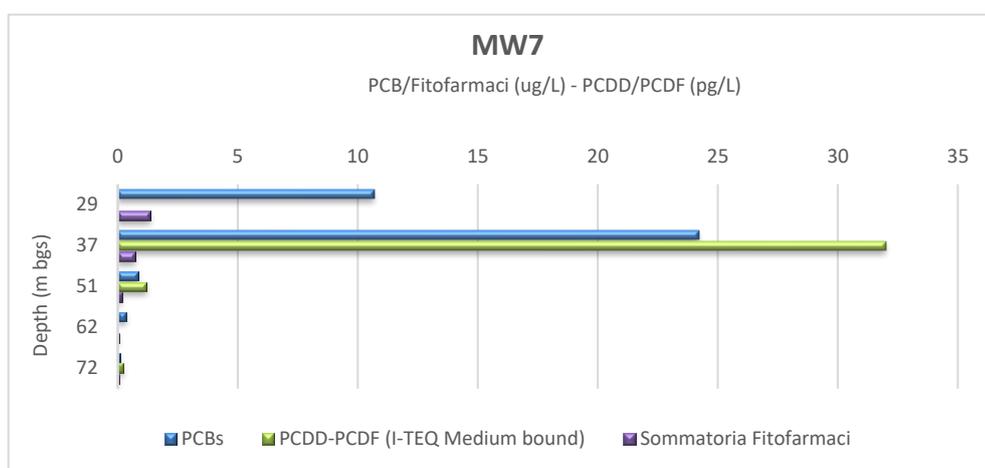
Figura 24: Transetti concentrazioni di PCDD-PCDF

### 4.7.3.1. Distribuzione verticale della contaminazione

La realizzazione di piezometri cluster multilivello e dei campionamenti selettivi a diverse profondità, mediante sistema a doppio packer, ha consentito di valutare la distribuzione verticale della contaminazione nella porzione di acquifero indagato.

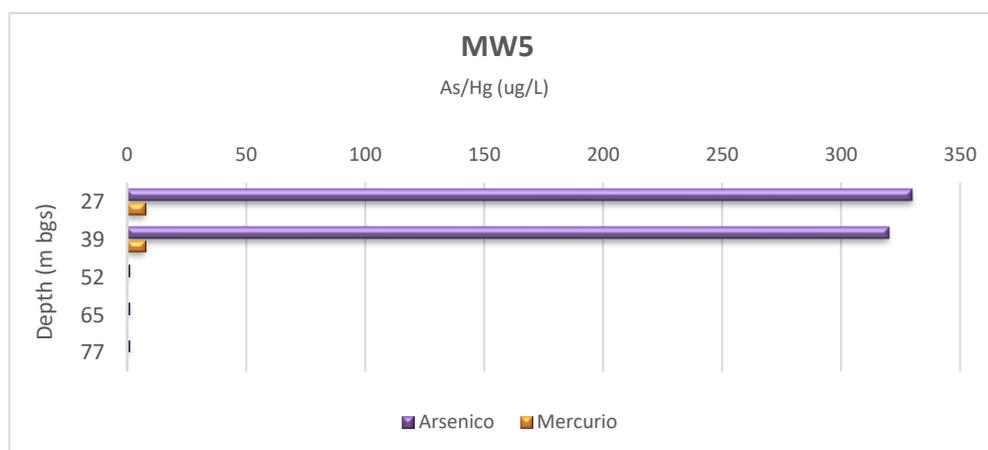
I risultati delle indagini confermano come la contaminazione relativa ai principali contaminanti indice sia localizzata prevalentemente nella porzione superficiale dell'acquifero.

Per esempio, in corrispondenza del piezometro MW7, ove si riscontrano le maggiori concentrazioni di PCB, i livelli di contaminazione si riducono di oltre un ordine di grandezza con la profondità (da 37-40 m a 51-54 m da p.c).



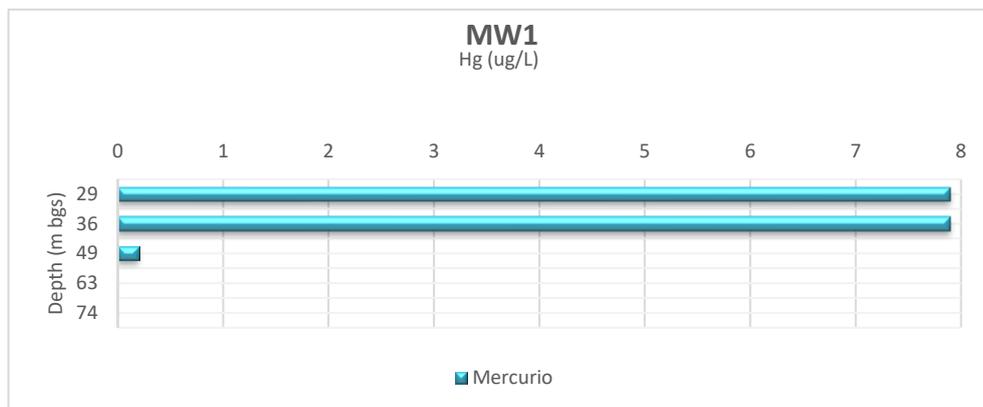
**Figura 25: Distribuzione verticale di PCB/Fitofarmaci/PCDD/PCDF nel piezometro MW7**

Una situazione analoga si verifica in corrispondenza del piezometro MW5, in corrispondenza della sorgente secondaria di As.

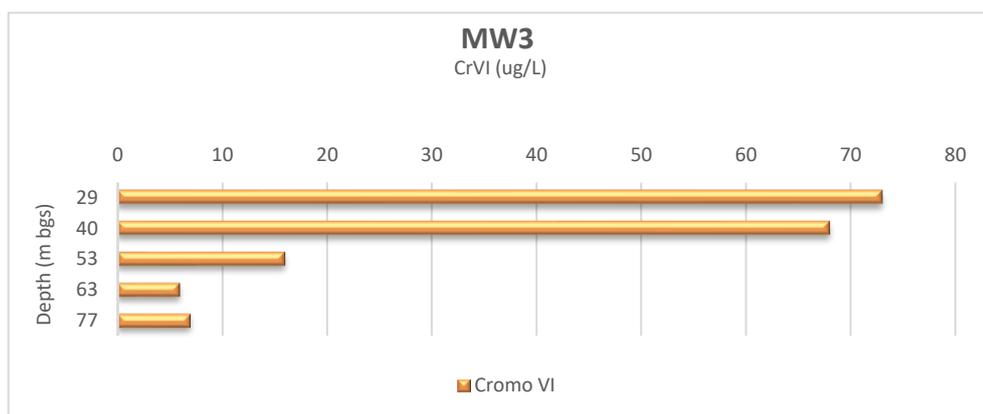


**Figura 26: Distribuzione verticale di As/Hg nel piezometro MW5**

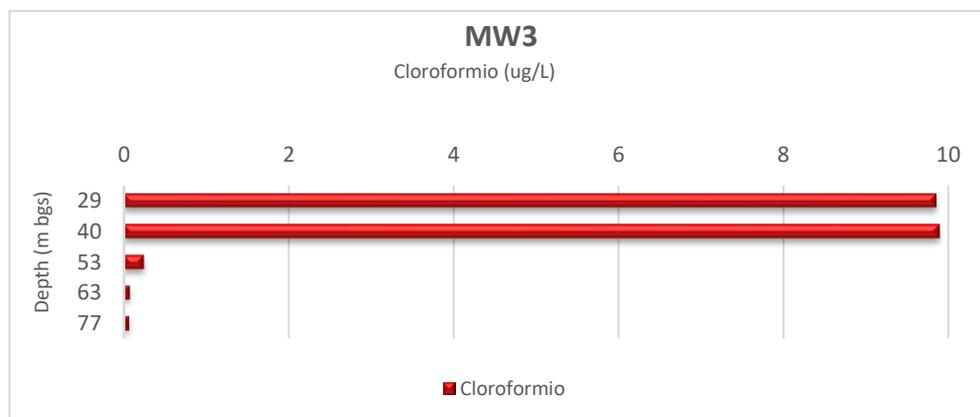
I grafici che seguono mostrano ulteriori evidenze relativamente ai parametri mercurio, cromo VI e cloroformio in corrispondenza dei piezometri cluster ove sono state riscontrate le concentrazioni maggiormente significative di tali contaminanti.



**Figura 27: Distribuzione verticale di Hg nel piezometro MW1**



**Figura 28: Distribuzione verticale di CrVI nel piezometro MW3**



**Figura 29: Distribuzione verticale di Cloroformio nel piezometro MW3**

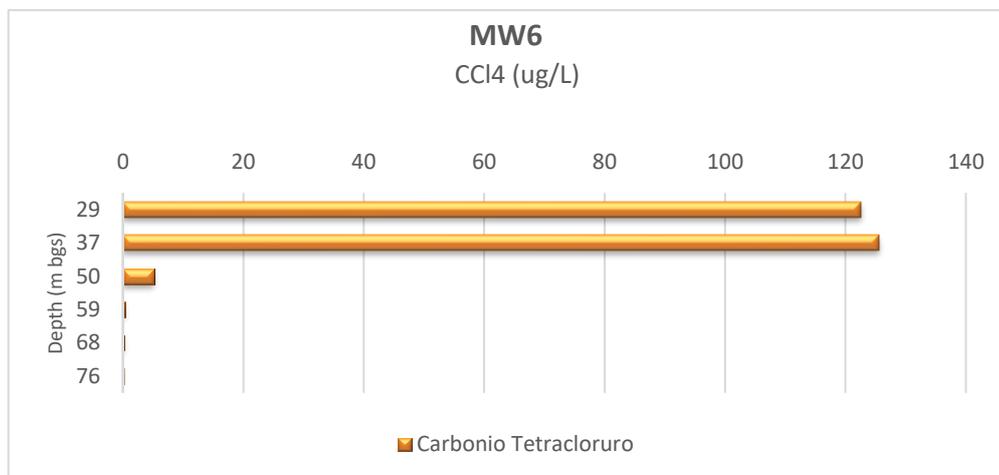


Figura 30: Distribuzione verticale di CCl<sub>4</sub> nel piezometro MW6

#### 4.7.4. Interpretazione prove SPT in situ e prove geotecniche di laboratorio

Sono stati analizzati i seguenti dati:

- Profili stratigrafici;
- Prove in situ: prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test SPT);
- Prove di laboratorio:
  - ✓ analisi granulometriche;
  - ✓ limiti di Atterberg, indice di plasticità e di consistenza;
  - ✓ prove edometriche;
  - ✓ prove di permeabilità.

I profili stratigrafici mostrano la descrizione qualitativa del terreno investigato, fino alla profondità di 80 m.

Viene confermata la presenza di un primo strato di **riporto eterogeneo** (pietrisco con calce, laterizi, ciottoli e limo) dello spessore di 1.5 m circa, seguito da **limo sabbioso** fino alla profondità di 3.0 m. Al di sotto del limo sabbioso è presente uno **strato di sabbia e ghiaia** (da mediamente addensata a molto addensata) fino alla profondità di circa 23.0 m; tra 23.0 m e 27.0 m è situato uno strato coesivo, duro, di bassa plasticità, composto da alternanza di **argilla limosa e limo argilloso**, con locale presenza di sabbia limosa. Da 27.0 m di profondità fino circa a 50.0 m, è presente **sabbia limosa**, con possibile presenza di ghiaia e locali lenti di limo. A 50.0 m di profondità, fino alla massima profondità indagata (80.0 m), viene riscontrata la presenza di **conglomerato cementato** (Ceppo lombardo), con localizzate presenze di limo sabbioso o altre tessiture non coesive.

#### Prove in situ

Prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test, SPT) sono state condotte in 8 sondaggi, ogni 3.0 m e fino alla profondità di 21.0 m.

La Figura 31 mostra il numero di colpi ( $N_{SPT}$ ) misurati durante le prove.

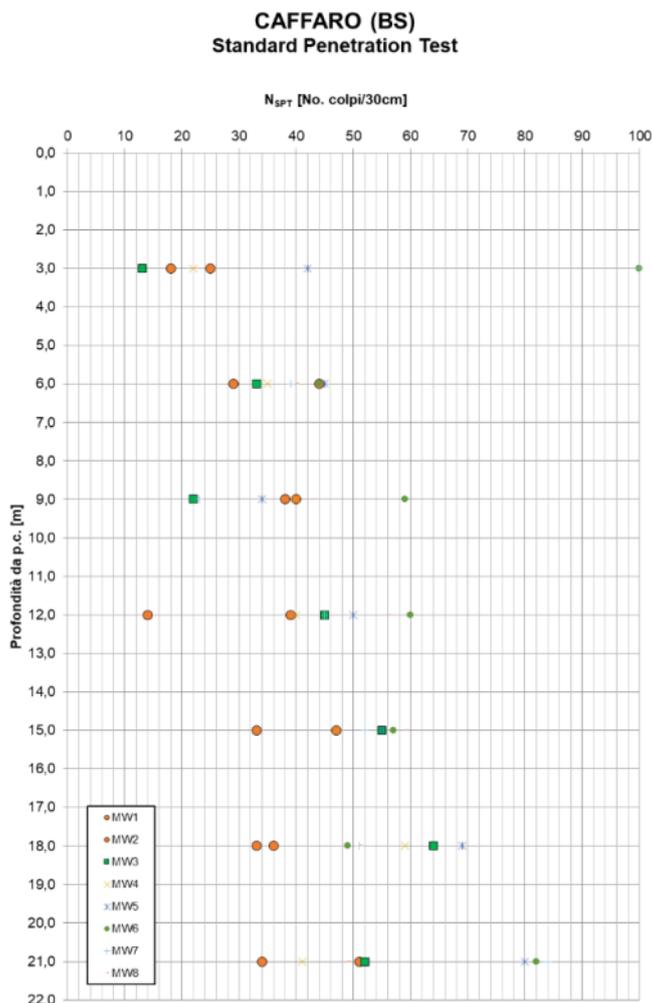


Figura 31: Standard Penetration Test

I valori di  $N_{SPT}$  sono stati interpretati attraverso idonee formule di letteratura al fine di calcolare i parametri meccanici del terreno.

In particolare, per i terreni granulari vengono forniti i seguenti parametri:

- $D_r$  = densità relativa (%);
- $\phi$  = angolo di attrito interno (°);
- $E$  = modulo di Young (MPa).

Sono state adottate le seguenti relazioni:

#### Densità relativa

$$D_r(\%) = \left[ 0.2236 \sqrt{\frac{N_{SPT}}{a + (b\sigma'_v)}} \right] 100 \quad (\text{Bazaraa, 1969})$$

dove:

- $a, b$  = parametri dipendenti dalla tensione litostatica efficace:
- $a = 1$  e  $b = 0.2$  se  $\sigma'_v \leq 15 \text{ t/m}^2$ ;
- $a = 3.25$  e  $b = 0.05$  se  $\sigma'_v > 15 \text{ t/m}^2$ ;
- $\sigma'_v$  = tensione efficace ( $\text{t/m}^2$ ).

## CAFFARO (BS) Densità relativa Dr da SPT (Bazaraa, 1969)

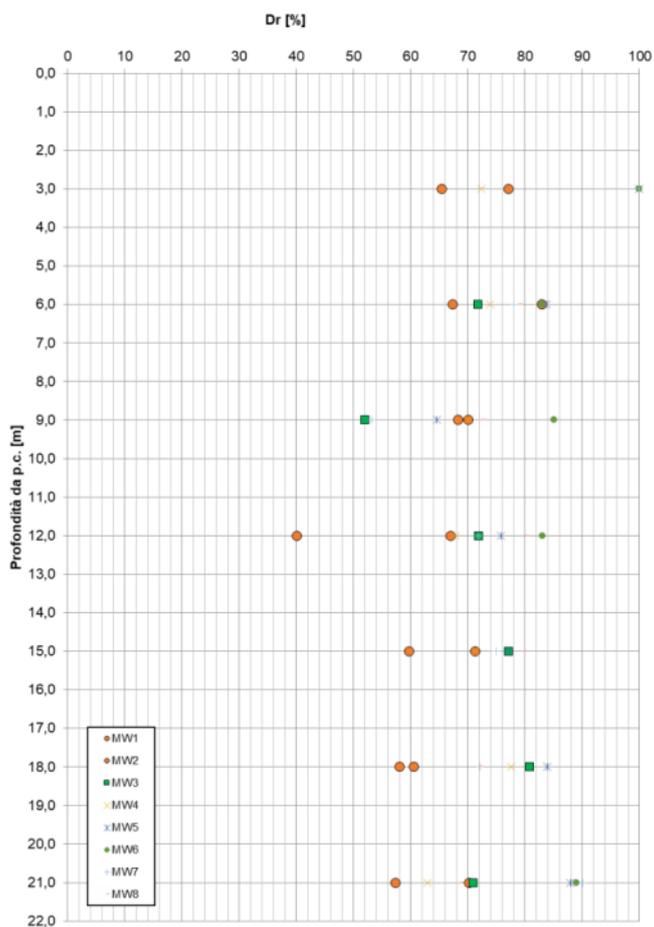


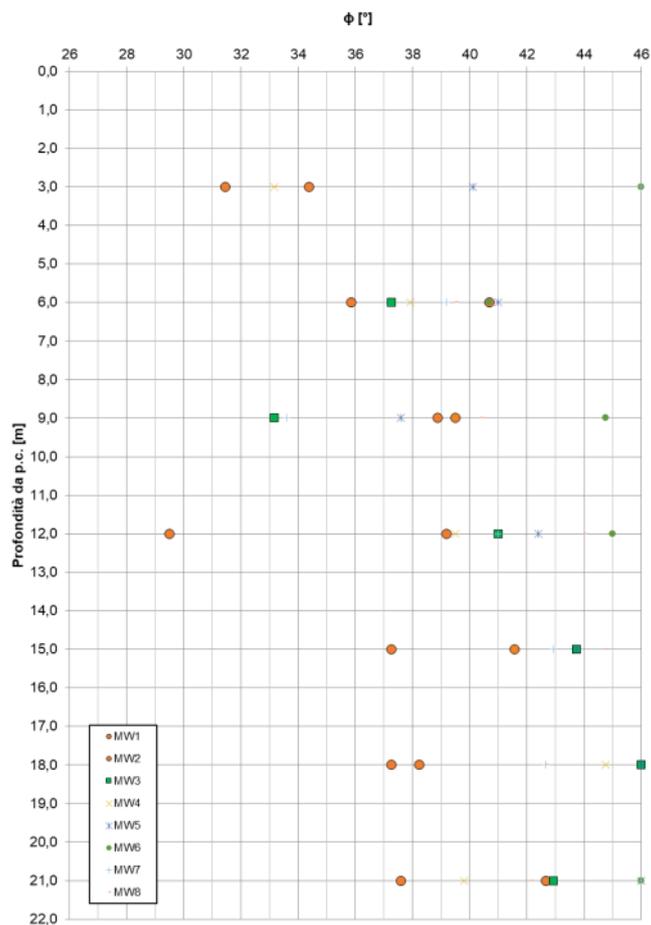
Figura 32: Materiale granulare - Densità relativa Dr da SPT

### Angolo di attrito interno

$$\varphi(^{\circ}) = \sqrt{15N_{SPT}} + 15 \quad (\text{Shioi \& Fukuni, 1982})$$

se  $\varphi > 46^{\circ}$  l'angolo di attrito interno è stato assunto pari a  $46^{\circ}$ .

**CAFFARO (BS)**  
**Angolo d'attrito interno  $\phi$  da SPT (Shioi&Fukuni, 1982)**



**Figura 33: Materiale granulare - Angolo di attrito interno  $\phi$  da SPT**

Modulo di Young

$$E(MPa) = 7\sqrt{N_{SPT}} \quad (\text{Denver, 1982})$$

## CAFFARO (BS) Modulo di Young E da SPT (Denver, 1982)

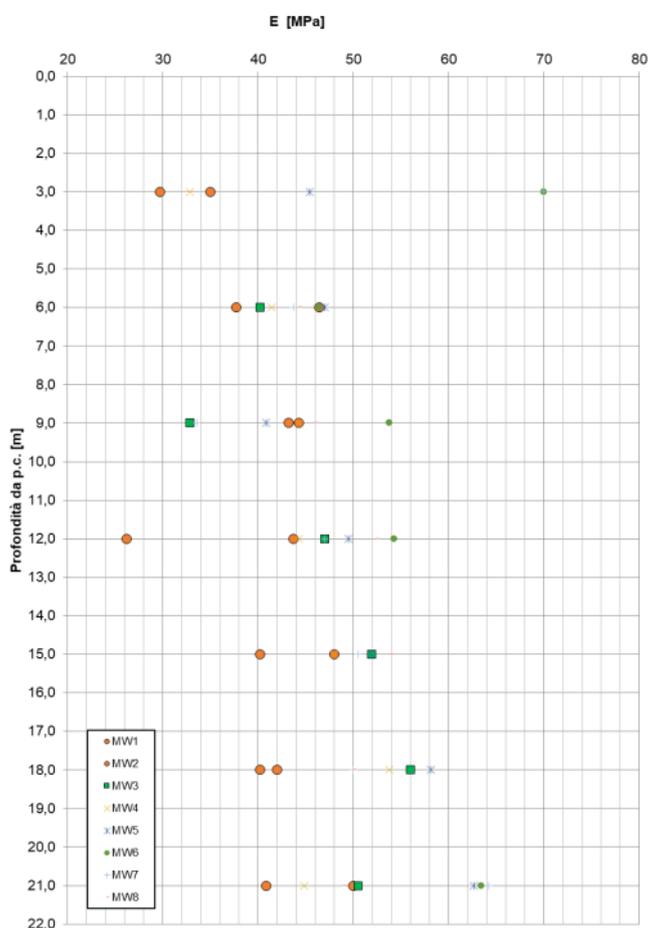


Figura 34: Materiale granulare - Modulo di Young E da SPT

### Test di laboratorio

#### Analisi granulometriche

Sono state eseguite diverse analisi granulometriche su campioni prelevati a differenti profondità dei sondaggi.

Le tabelle seguenti sintetizzano i risultati ottenuti, distinguendo classificazione secondo AGI da classificazione secondo ASTM.

**Tabella 9: Analisi granulometrica – classificazione secondo AGI**

AGI								
Sondaggio	Campione	Profondità	Ciottoli (%)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Denominazione
MW1	C1	30,0	0,00	46,47	28,68	19,73	5,13	Ghiaia con sabbia limosa debolmente argillosa
MW2	C1	28,5	0,00	0,51	20,24	54,48	24,77	Limo con argilla sabbioso
MW2	C2	79,5	0,00	0,29	7,57	66,42	25,71	Limo con argilla debolmente sabbioso
MW3	C1	30,0	0,00	37,50	32,56	24,10	5,84	Ghiaia con sabbia limosa debolmente argillosa
MW5	C1	29,5	0,00	44,36	34,01	17,73	3,90	Ghiaia con sabbia limosa (tracce di argilla)
MW6	C1	29,5	0,00	31,89	37,17	25,36	5,58	Sabbia con ghiaia e limo debolmente argillosa
MW7	C1	29,5	0,00	46,21	33,62	16,54	3,64	Ghiaia con sabbia limosa (tracce di argilla)

**Tabella 10: Analisi granulometrica – classificazione secondo ASTM**

ASTM								
Sondaggio	Campione	Profondità (m da p.c.)	Ciottoli (%)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Denominazione
MW1	C1	30,0	0,00	36,09	37,87	16,49	9,55	Sabbia con ghiaia limosa argillosa
MW2	C1	28,5	0,00	0,09	18,18	44,33	37,40	Limo con argilla sabbioso
MW2	C2	79,5	0,00	0,20	5,52	52,00	42,28	Limo con argilla sabbioso
MW3	C1	30,0	0,00	28,39	39,48	22,20	9,93	Sabbia con ghiaia limosa argillosa
MW5	C1	29,5	0,00	33,04	43,56	16,03	7,38	Sabbia con ghiaia limosa argillosa
MW6	C1	29,5	0,00	20,81	45,71	22,93	10,55	Sabbia con limo e ghiaia argillosa
MW7	C1	29,5	0,00	34,58	43,59	14,95	6,88	Sabbia con ghiaia limosa argillosa

Le seguenti figure mostrano graficamente i dati presentati nelle tabelle precedenti.

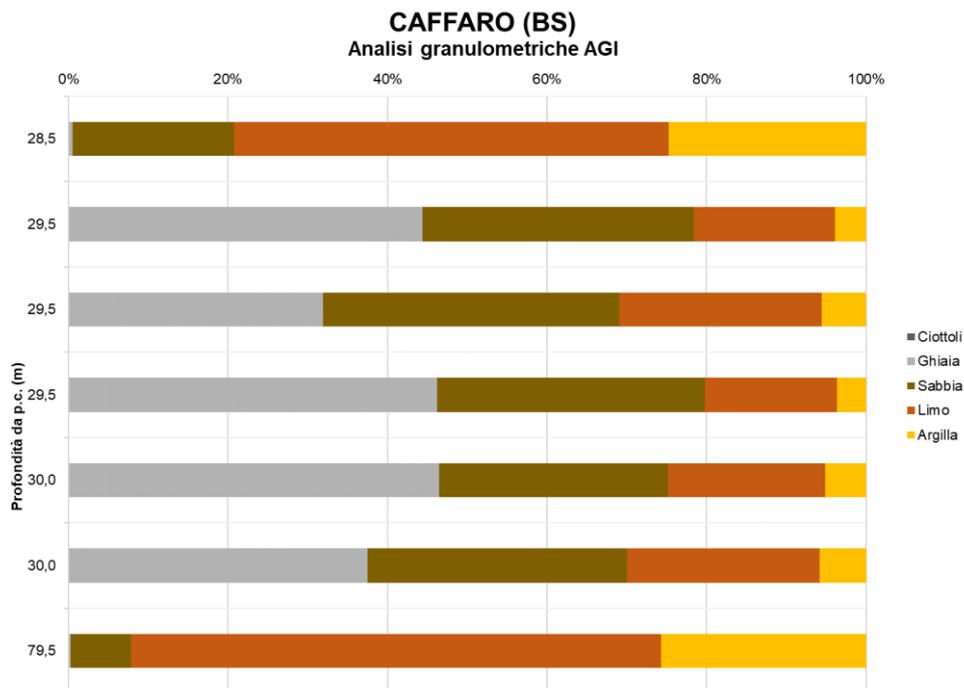


Figura 35: Analisi granulometriche AGI

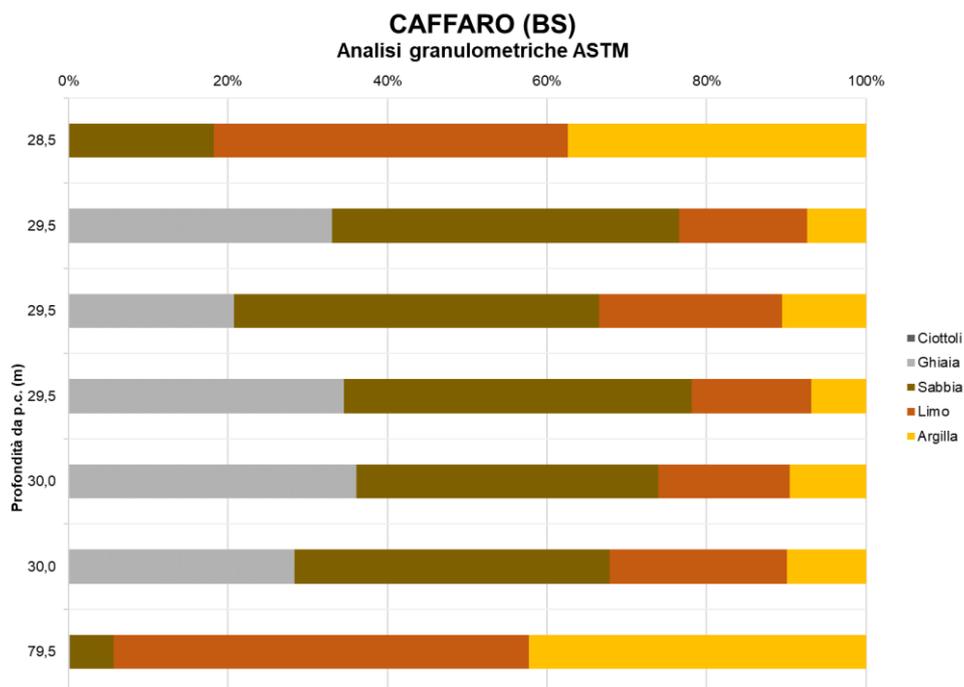


Figura 36: Analisi granulometriche ASTM

Come si evince dalla Figura 35 e dalla Figura 36, c'è una prevalenza di limo e argilla a circa 29 m di profondità; un ulteriore strato coesivo significativo è stato riscontrato a circa 80 m di profondità.

Limiti di Atterberg, indice di plasticità e indice di consistenza

La tabella seguente sintetizza i limiti di Atterberg, indice di plasticità e indice di consistenza valutati in laboratorio per diversi campioni estratti da differenti sondaggi; in particolare:

- LL = limite liquido (%);
- LP = limite plastico (%);
- IP = indice di plasticità (%);
- IC = indice di consistenza (%).

**Tabella 11: Limiti di Atterberg**

Sondaggio	Campione	Profondità (m da p.c.)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IC (%)
MW1	C1	30,0	21,20	19,67	1,53	2,61
MW2	C1	28,5	33,00	21,50	11,50	0,43
MW2	C2	79,5	30,50	20,60	9,90	0,71
MW3	C1	30,0	22,90	20,87	2,03	2,30
MW5	C1	29,5	23,50	21,51	1,99	5,40
MW6	C1	29,5	21,75	19,66	2,09	3,98
MW7	C1	29,5	21,00	19,49	1,51	6,89

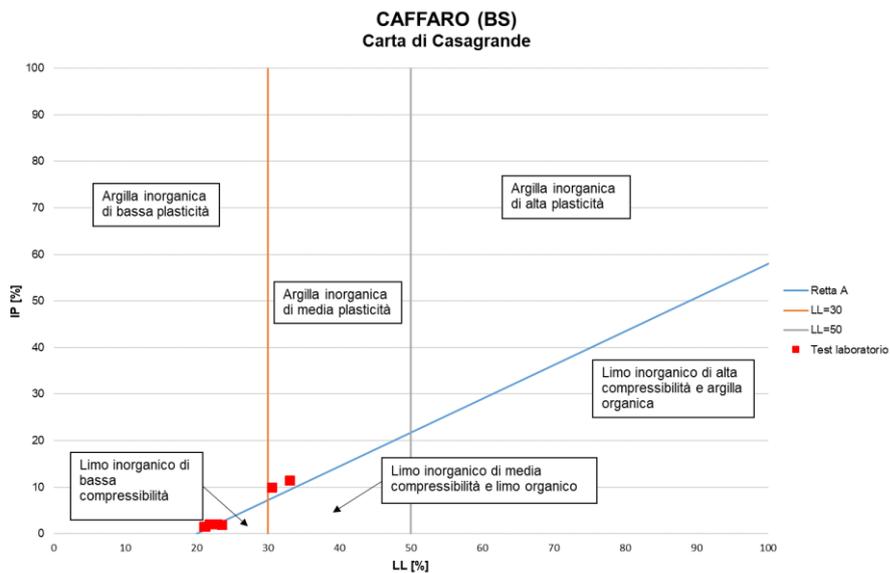


Figura 37: Carta di Casagrande

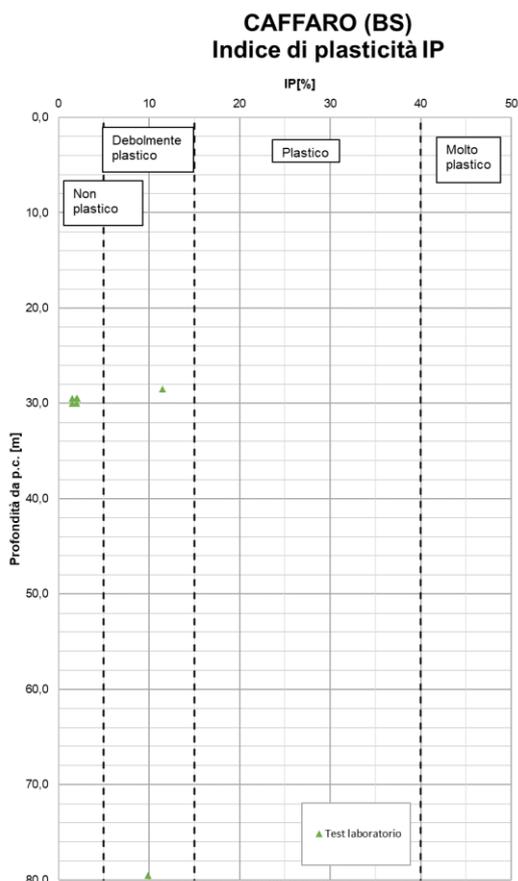
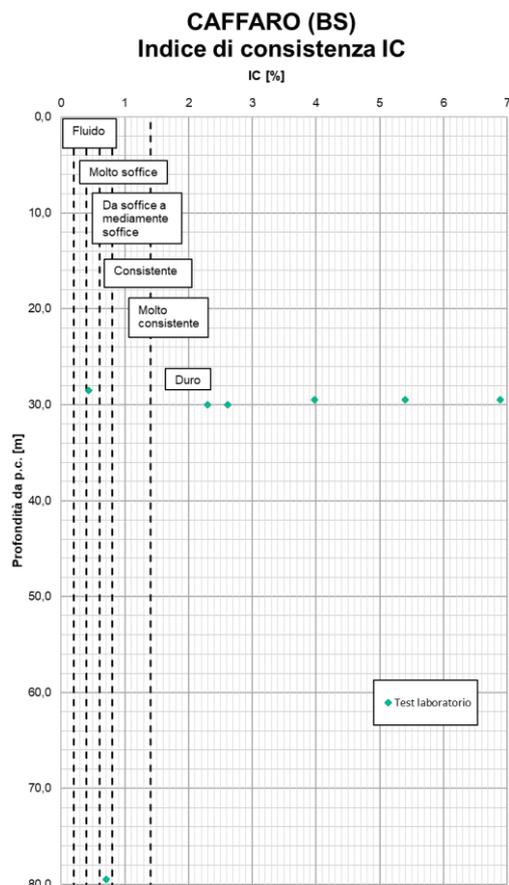


Figura 38: Indice di plasticità IP



**Figura 39: Indice di consistenza**

### Prove edometriche

Le prove edometriche condotte su diversi campioni estratti a differenti profondità dei sondaggi hanno permesso di valutare, per il materiale coesivo, il coefficiente di compressibilità  $mv$ , da cui è stato calcolato il modulo di compressibilità mediante la seguente relazione:

$$M = \frac{1}{mv}$$

Successivamente è stato valutato il modulo di Young, secondo la teoria elastica, come:

$$E = M \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

dove  $\nu=0,35$ , considerando un angolo d'attrito interno  $\varphi=28^\circ$  per indice di plasticità molto basso (Gibson, 1953).

**Tabella 12: Prove edometriche**

Sondaggio	Campione	Profondità (m da p.c.)	mv (cm <sup>2</sup> /kg)	M (MPa)	φ (°)	ν (-)	E (MPa)
MW2	C1a	28,5	1,01E-02	10	28	0,35	6
MW2	C1b	28,5	1,08E-02	9	28	0,35	6
MW2	C2a	79,5	6,35E-03	16	28	0,35	10
MW2	C2b	79,5	5,39E-03	19	28	0,35	12

### Prove di permeabilità

La seguente tabella sintetizza i risultati delle prove di permeabilità k.

**Tabella 13: Prove di permeabilità**

Sondaggio	Campione	Profondità (m da p.c.)	k (cm/s)
MW2	C1a	28,5	3,85E-08
MW2	C1b	28,5	4,32E-08
MW2	C2a	79,5	2,53E-08
MW2	C2b	79,5	3,06E-08

Alla luce delle considerazioni riportate nel presente capitolo, viene presentata una sintetica stratigrafia di progetto con i principali parametri geotecnici del terreno.

**Tabella 14: Principali parametri geotecnici**

	Materiale	Spessore strato (m)	Profondità (m da p.c.)	Dr (%)	φ (°)	E (MPa)	M (MPa)
	Riporto	1,5	1,5	(*)	(*)	(*)	-
	Limo sabbioso	1,5	3	-	(*)	(*)	(*)
	Sabbia e ghiaia	20,0	23,0	60÷80	36÷40	35÷45	
	Argilla limosa e limo argilloso	7,0	30,0	-	28	6	10
	Sabbia limosa	20,0	50,0	(*)	(*)	(*)	-
	Conglomerato cementato con locale limo sabbioso (a 80 m)	-	-		28	10	16

(\*) = mancanza di dati

## 5. MODELLO CONCETTUALE DEL SITO

In questa sezione viene fornito il quadro generale delle caratteristiche e condizioni del sito deducibile sulla base delle indagini condotte sul sito a partire dal 2000: gli elementi esposti costituiscono il modello concettuale del sito.

### 5.1. Idrologia

L'area di Brescia ricade all'interno del Bacino del f. Oglio (con superficie complessiva di circa 6.360 km<sup>2</sup>, il 54% dei quali in ambito montano), di cui i fiumi Mella (ubicato a Ovest dell'area di studio) e Chiese sono i più importanti affluenti dell'Oglio sottolacuale.

Il bacino idrografico dell'Oglio è suddiviso nelle sue componenti:

- asta principale dell'Oglio;
- asta principale del Mella;
- asta principale del Chiese;
- bacino montano e la rete idrografica minore.

Il reticolo idrografico superficiale in prossimità dell'area Caffaro è rappresentato dall'asse vallivo principale del Fiume Mella, che nel tratto prossimo all'area di studio si presenta interamente arginato, e da un complesso sistema di rogge e canali che tendono a svilupparsi in uscita dall'area urbana verso le aree agricole presenti a sud.

Attualmente è in corso l'attività di monitoraggio delle acque e del sedime delle Rogge presenti a sud del comparto industriale, come riportato nella figura sottostante:

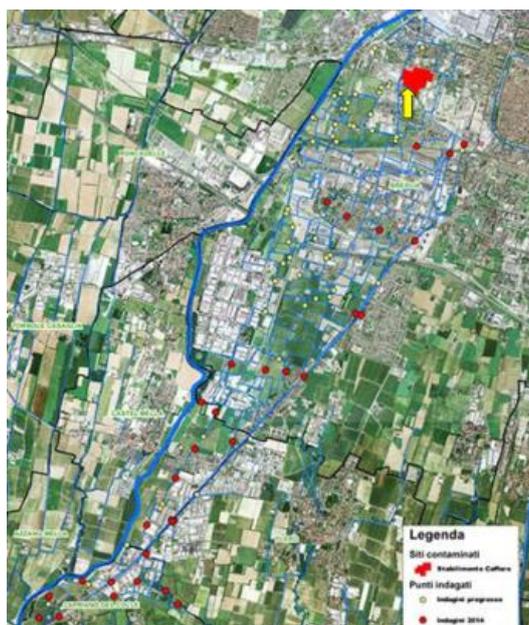


Figura 40: Reticolo Idrico

In particolare si segnala la Roggia Fiumicella Ramo Est (indicata in carta con la freccia gialla) nella quale vengono scaricate con autorizzazione provinciale le acque di emungimento dai pozzi industriali attivi nello stabilimento a seguito dell'ordinanza del comune che lo ha imposto nell'ambito delle attività di messa in sicurezza di emergenza (MISE) per garantire il confinamento della falda acquifera sottostante e per impedire che le acque sotterranee entrino in contatto con gli inquinanti presenti nel sottosuolo del sito produttivo accumulati negli anni passati.

## 5.2. Inquadramento geologico-idrogeologico

Il Sito di Caffaro si trova immediatamente ad Ovest del centro storico di Brescia, in prossimità del cimitero Vantiniano. L'area è situata in prossimità dello sbocco della valle del Fiume Mella nell'alta pianura Lombarda, in particolare tra la parte distale della conoide alluvionale del Fiume stesso ed il livello fondamentale della pianura. La conoide alluvionale del Mella è caratterizzata da una notevole ampiezza laterale, ed è stata generata, durante il Quaternario, dalla rilevante attività deposizionale del suddetto Fiume in corrispondenza dello sbocco in Pianura, dovuta agli importanti fenomeni erosivi in corso presso i rilievi montuosi posti a Nord.

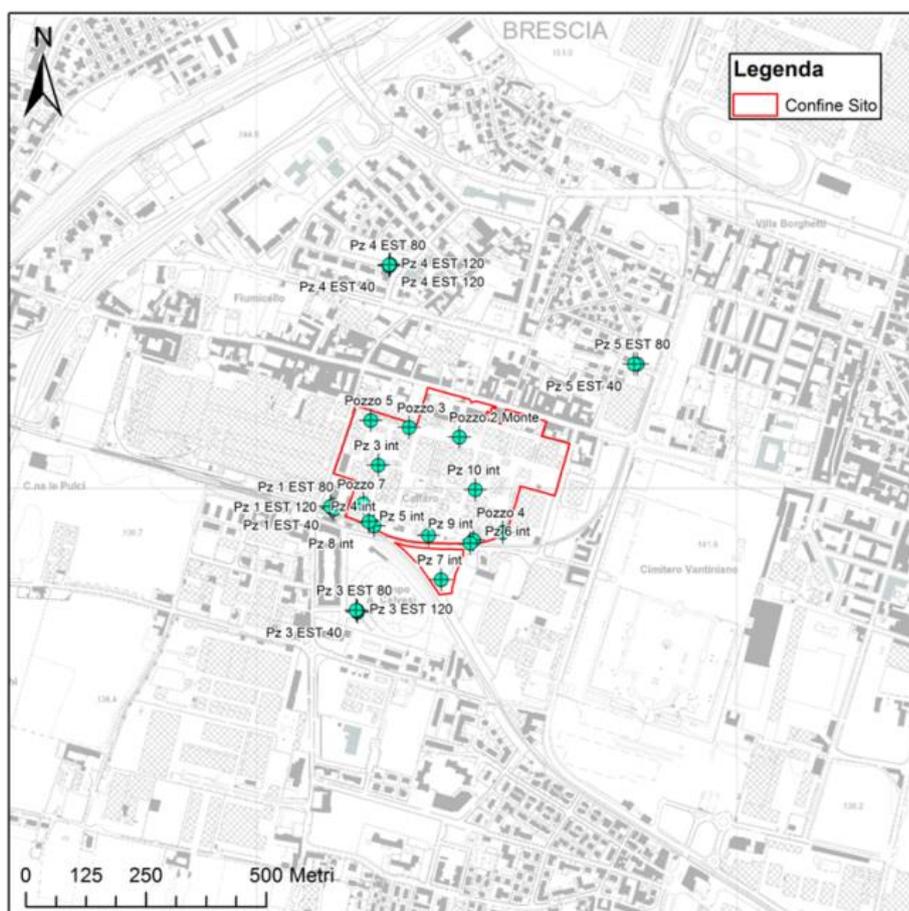


Figura 41: Stabilimento Caffaro di Brescia - Ubicazione del Sito

I depositi che costituiscono questo corpo sedimentario sono in prevalenza grossolani, e sono cartografati nella Carta Geologica d'Italia e nella Carta Geologica delle Prealpi Bresciane a Sud dell'Adamello come Alluvioni antiche ed Alluvioni fluvio-glaciali e fluviali riferite al Würm Auct. (Olocene - Pleistocene medio - sup.). Le prime, di età olocenica (post-glaciali), sono rappresentate da materiali sabbioso-ghiaiosi; le seconde, più antiche di età pleistocenica, sono costituite da depositi ghiaiosi, sabbiosi e limosi che presentano generalmente uno strato di alterazione superficiale argilloso da brunastro a giallo-rossiccio di ridotto spessore e sono localmente ricoperte da una più o meno esigua coltre limosa.

Il Fiume Mella originariamente ha divagato su tutta la conoide, mentre successivamente ha abbandonato il settore orientale e quello centrale, concentrando il flusso nel settore occidentale, ad Ovest del Sito, dove sono riconoscibili aree interessate in tempi via via più recenti dalla sua azione erosiva e/o deposizionale.

Il sito oggetto di studio è situato nella zona di transizione tra le alluvioni fluviali antiche di età olocenica e le alluvioni fluvio-glaciali e fluviali di età pleistocenica. La linea di demarcazione tra le due unità non è individuabile con chiarezza, essendo il territorio completamente urbanizzato. Tale circostanza ai fini pratici risulta tuttavia moderatamente rilevante in quanto si tratta in entrambi i casi di ghiaie a matrice sabbiosa e sabbioso-limosa, pur essendo l'unità olocenica verosimilmente più permeabile di quella pleistocenica. La percentuale di frazione limosa varia sia in senso verticale sia orizzontale, e localmente sono presenti lenti limoso-argillose. In superficie, laddove non obliterata o coperta da terreni di riporto, è presente una copertura di materiali limoso-argillosi potente circa 2-3 m.

I depositi alluvionali citati (unità del fluviale Würm Auct) presentano assetto e caratteri strutturali sostanzialmente simili, con giaciture orizzontali o sub orizzontali o localmente inclinate in relazione ad episodi deposizionali specifici (foresets laterali di meandro, fronte di barre longitudinali o trasversali in zona braided) o per appoggio su superfici inclinate modellate in roccia; i rapporti tra i vari litotipi presentano caratteri di estrema variabilità con frequenti variazioni verticali e laterali che si ricollegano ai meccanismi erosivo-deposizionali (con rapporti laterali per intersezione di origine erosiva e verticali per sovrapposizione in sequenze sia negative che positive) che caratterizzano gli ambienti alluvionali; i litotipi prevalenti sono quelli grossolani (sabbie e ghiaie), e procedendo verso Sud si verifica una diminuzione della granulometria, come ci si attende che accada procedendo verso la zona più distale della conoide.

Presso il Sito l'unità del fluviale Würm Auct. è rinvenibile in profondità sino a circa 25 m dal piano campagna e poggia su depositi conglomeratici (Ceppo Lombardo Auct.) che localmente possono passare a ghiaie e sabbie. Tra le due unità è talvolta possibile rinvenire depositi attribuibili alle unità fluviali più antiche del Mindel-Riss Auct. che, nel caso specifico, manifestano modesto spessore e limitata estensione laterale.

Il complesso dei depositi alluvionali continentali (Fluviale Würm e Ceppo) forma una coltre dello spessore di circa 80-90 m nell'area d'interesse, mentre il suo spessore è maggiore nel settore settentrionale della città di Brescia, laddove raggiunge valori prossimi o superiori a circa 160-170 m.

Questo complesso poggia a sua volta su terreni sempre di origine continentale, ma a granulometria essenzialmente fine, di ambiente deltizio-lagunare. Litostratigraficamente essi sono stati attribuiti al Villafranchiano Auct. (Pleistocene inf.) e sotto l'aspetto litologico sono costituiti da limi e argille, talora fossilifere, con intercalazioni sabbioso-ghiaiose di forma lenticolare, maggiormente frequenti nella porzione sommitale dell'unità.

L'assetto strutturale e litologico delle unità individuate nel sottosuolo grazie alle ricostruzioni in precedenza effettuate, condiziona l'idrogeologia dell'area in quanto determina la presenza di tre distinte unità idrogeologiche, identificate sulla base di affinità litologiche, idrogeologiche e di carattere idraulico.

A partire dal piano campagna e sino ad una massima profondità di circa 200 m, è possibile identificare le seguenti unità idrogeologiche:

- unità ghiaioso-sabbiosa (fluviale Würm Auct.);
- unità conglomeratica (Ceppo Lombardo Auct.);
- unità argilloso-sabbiosa (Villafranchiano Auct.);

Secondo la terminologia introdotta da recenti studi (Geologia degli acquiferi padani della Regione Lombardia - Regione Lombardia, Autori Vari, gennaio 2002), alle suddette unità idrogeologiche corrisponderebbero le seguenti unità idrostratigrafiche:

- unità ghiaioso-sabbiosa – Gruppo Acquifero A (Pleistocene Medio e Sup.);
- unità conglomeratica – Gruppo Acquifero B (Pleistocene Medio);
- unità argilloso-sabbiosa – Gruppi Acquiferi C e D (Pleistocene Medio e Inf.).”

Da un punto di vista idrogeologico nell'area di studio si identificano gruppi acquiferi distinti e caratterizzati da litotipi con un diverso comportamento idraulico. Dal punto di vista idrico sotterraneo è possibile concettualizzare un sistema di falde acquifere come segue:

### **Falda del Primo Acquifero Alluvionale**

Il sistema principale è impostato nei depositi alluvionali fluviali più superficiali, appartenenti al Gruppo Acquifero A e B del Pleistocene medio - sup., che ospitano una falda libera (talora debolmente semiconfinata), estremamente produttiva, e generalmente sostenuta dalle argille del Pleistocene medio - inferiore.

**La presenza di orizzonti a minore permeabilità**, costituiti sia da livelli a granulometria fine sia da conglomerati ben cementati, **fa sì che la circolazione idrica si sviluppi seguendo vie di deflusso preferenziali rappresentate dai litotipi più permeabili, secondo livelli sovrapposti**. Questo è uno dei caratteri salienti dell'assetto idrogeologico del Primo acquifero alluvionale: la diffusa presenza, a varie profondità, di lenti e/o livelli limoso-argillosi aventi bassa permeabilità e scarsa

continuità laterale, che determinano una certa compartimentazione dell'acquifero, senza tuttavia determinare vere e proprie condizioni di confinamento.

Si ritiene comunque che i livelli siano tra loro intercomunicanti, in quanto gli orizzonti a bassa permeabilità non sembrano estesi e continui a tal punto da separare completamente gli acquiferi (Denti, Lauzi, Sala, Scesi, 1988). Di conseguenza i livelli acquiferi contenuti nell'unità ghiaioso-sabbiosa e nell'unità conglomeratica possono essere ricondotti ad un'unica circolazione idrica sotterranea a carattere generale.

I valori di permeabilità dei depositi ghiaiosi sono piuttosto elevati dell'ordine di  $10^{-3}$  m/s, quelli dei conglomerati sono leggermente inferiori in relazione allo stato di fratturazione e cementazione sono comunque compresi tra  $10^{-3}$  e  $10^{-4}$  m/s.

La direzione principale di deflusso della falda è da Nord Nord Ovest – Sud Sud Est, secondo l'asse longitudinale della pianura bresciana. I valori del gradiente idraulico sono fortemente condizionati dai prelievi, che sono maggiormente concentrati nella porzione settentrionale della piana: in particolare le ricostruzioni piezometriche effettuate nel corso degli anni mostrano le depressioni piezometriche generate dai prelievi dei pozzi A2A e dei pozzi industriali Caffaro. Il gradiente diminuisce andando da nord verso sud, sia per effetto dei prelievi sia verosimilmente per il passaggio da una zona a prevalente litologia ghiaioso-sabbiosa con poche lenti di argilla a una con dove **argilla e limo sono più abbondanti, in particolare al passaggio dal Gruppo acquifero A al gruppo acquifero B.**

La soggiacenza della falda, correlata alle oscillazioni "climatiche" del livello piezometrico, presenta oscillazioni molto marcate nel settore settentrionale della pianura, lungo il tratto terminale della Val Trompia e l'apice del conoide del Mella. Nella parte meridionale della pianura, invece, il piano freatico si approssima al piano campagna. Nella zona tra Fornaci e Folzano si segnalano locali emergenze delle acque di falda con la superficie freatica che intercetta il piano campagna.

Nella zona in esame la falda ha avuto un generale trend negativo nel periodo anni '60 - metà anni '70, imputato ai massicci emungimenti nel periodo del boom economico. I dati storici relativi alle variazioni dei livelli all'interno dei pozzi idropotabili, registrati dal 1973 mostrano come il trend negativo persista fino a raggiungere un minimo relativo all'inizio degli anni '90, per poi invertirsi originando un innalzamento a partire circa dagli anni 1999-2000.

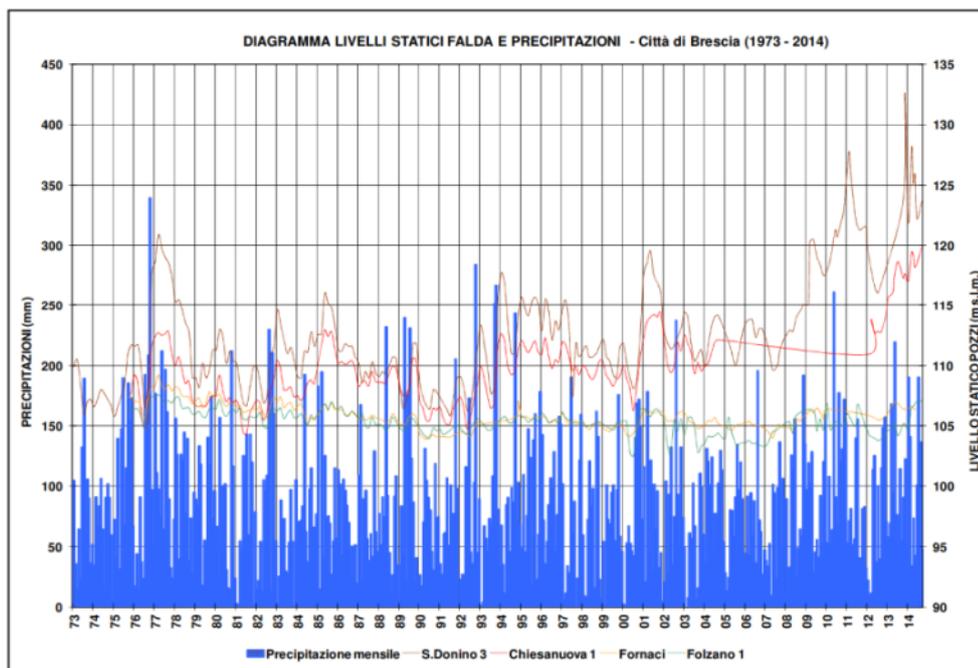


Figura 42: Livello di falda e precipitazioni Brescia – pozzi pubblici con serie storica 1973-2014. Tratto da “Attività di affinamento delle conoscenze sulla contaminazione delle acque sotterranee in cinque aree della provincia di brescia con definizione dei plumes di contaminanti ed individuazione delle potenziali fonti di contaminazione”- LOTTO A - AREA BS002 - BRESCIA – CAFFARO - Relazione idrogeologica di inquadramento

Nell’area del Sito Caffaro, la forte riduzione dei prelievi di natura industriale ha determinato, nel corso degli ultimi anni, un ulteriore recupero progressivo del livello di falda infatti, nel 2014 presso il piezometro Pz5, oggetto di monitoraggio in continuo, sono stati misurati carichi idraulici di 123 metri s.l.m con un innalzamento pari a circa 10 metri rispetto ai valori massimi misurati nelle campagne del 2002-2007.

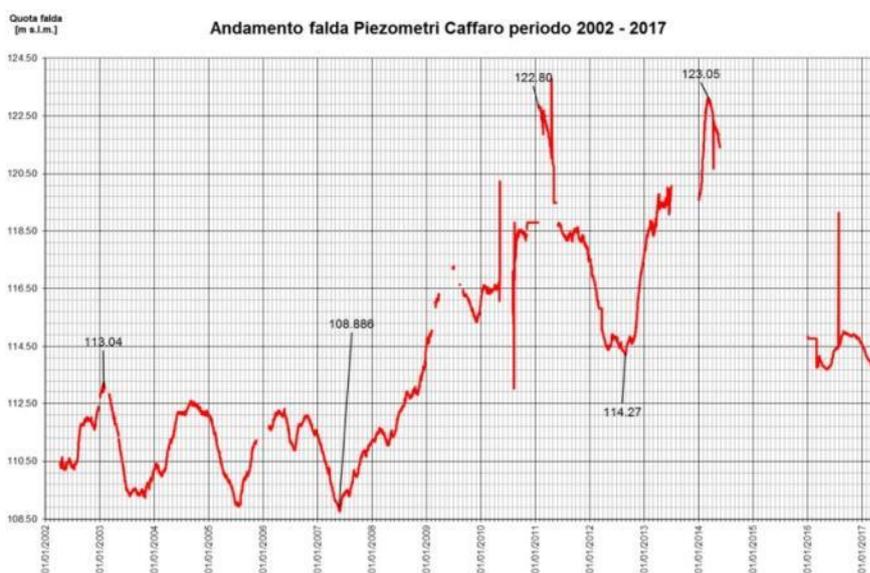


figura 4 – Livello della falda nel piezometro Pz 5, interno allo stabilimento “Caffaro” (elaborazione ARPA dei dati Caffaro in A.S.)

**Figura 43: Oscillazioni del livello piezometrico, dati acquisiti da data logger Pz5. Tratto da Monitoraggio acque sotterranee – Risultati delle indagini geochimiche e piezometriche – Gennaio Giugno 2017. ARPA Lombardia**

Per quanto riguarda i rapporti idrici tra il Fiume Mella e la falda, i dati piezometrici e idrometrici acquisiti da ARPA nel 2014 indicano come nel settore d’interesse le interazioni tra fiume e falda sembrano essere limitate solamente a fenomeni di ricarica indiretta, ovvero senza uno scambio idrico diretto dal fiume verso la falda. In realtà il confronto tra la quota del pelo libero del Mella e la quota piezometrica indica un carattere disperdente del fiume fino alla latitudine della Caffaro ed oltre, mentre sembra il Fiume Mella sembra essere drenante a partire dalla fascia dei fontanili in cui la falda risulta essere molto superficiale, con una interazione diretta con il fiume.

### Falde degli Acquiferi Alluvionali Profondi

La prima e la seconda falda sono separate da un’unità costituita da argille, argille limose e limi con spessori variabili. I livelli di queste unità impermeabili o semi-permeabili presentano spessori variabili, da 1 a 10 m, inoltre, la presenza di pozzi che intercettano più falde contemporaneamente, può portare ad un locale interscambio delle acque tra le due falde.

Le falde confinate degli acquiferi del Gruppo C e D, ospitate nelle unità argilloso sabbiose sono di scarso interesse idrogeologico e poco sfruttate. I valori di permeabilità per i depositi con componente più fine sono dell’ordine di  $1 \times 10^{-7}$  e  $1 \times 10^{-8}$  m/s, e compresi tra  $10^{-4}$  m/s e  $10^{-5}$  m/s per i livelli a maggiore componente sabbiosa. Questi acquiferi definiti “profondi” per distinguerli dall’acquifero dell’unità conglomeratica e in parte ghiaioso-sabbiosa, godono di buona protezione dall’inquinamento derivato dalla superficie, in quanto l’acquicludo può presentare anche notevoli spessori.

## 5.2.1. Inquadramento geologico di dettaglio

Il Sito insiste sulla coltre alluvionale dei depositi Fluviali riferiti al Würm Auct. (Olocene - Pleistocene medio - sup.) che costituiscono la porzione superiore affiorante e fondamentale della pianura bresciana. La coltre alluvionale è stata deposta in epoca pre-quaternaria dall'attività sedimentaria del F. Mella che scorreva in una profonda valle modellata in roccia; tale valle è stata successivamente colmata da depositi villafranchiani (prima marini e poi di transizione) ed alluvionali.

Dal punto di vista litostratigrafico questi depositi sono costituiti da sabbie ghiaiose con ciottoli, in cui è riscontrata una diminuzione granulometrica procedendo verso la parte meridionale della valle, in accordo con le caratteristiche deposizionali di un sistema di conoide.

Questa unità fluviale ha spessori variabili, presso il sito mediamente interessa i primi 25 metri di profondità dal piano campagna e poggiano sui depositi conglomeratici con orizzonti argillosi o argilloso-sabbiosi denominati Ceppo Lombardo Auct. del Pleistocene medio. Questo complesso alluvionale continentale forma una coltre di spessori compresi tra gli 80-90 e poggia su depositi di origine marina e continentale costiera Villafranchiane Auct. (Pleistocene medio - inf.) granulometricamente costituiti da argille limose grigio-azzurre con intercalazioni ghiaiose o ghiaioso-sabbiose di forma lenticolare maggiormente frequenti nella parte superiore dell'unità.

Come desumibile dal documento "MCS definitivo redatto da NCE nel Maggio 2006" nel sito in esame "è possibile individuare dei livelli (sub-unità) litostratigrafici che presentano caratteristiche litologiche e granulometriche affini:

- *Livello A – Terreno di riporto: da 0 a 1,5 m da p.c. è costituito dai terreni di riporto (sia riporto "terreno" che riporto "altro"). E' distribuito su quasi la totalità della superficie dello stabilimento con spessori medi di 1,5 m e massimi di oltre 3 m. E' caratterizzato da una granulometria estremamente eterogenea e da una permeabilità molto variabile. Rappresenta la porzione di terreno in cui è presumibilmente concentrata la quasi totalità della massa degli inquinanti...;*
- *Livello B – Limo: da 1,5 a 3,0 m da p.c. è costituito da limo argilloso. E' distribuito su quasi la totalità della superficie dello stabilimento con spessori medi di 1,5 m e massimi di oltre 3 m. E' caratterizzato da una granulometria limoso/argillosa con passante al 2 mm del 97 %, tale granulometria conferma il dato relativo alla conducibilità idraulica media pari a  $2,4 \cdot 10^{-6}$  m/s. Rappresenta la porzione di terreno fondamentale per la migrazione dei contaminanti a maggiore profondità...;*
- *Livello C – Ghiaia: da 3,0 a 10 m da p.c., è costituito prevalentemente da ghiaia;*
- *Livello D – Sabbia: da 10 a 30 m da p.c., è costituito prevalentemente da sabbia. Tra 20 e 30 m di profondità sono frequenti le intercalazioni di lenti di ghiaia, argilla e limo di spessore metrico."*

Nella seguente tabella (Tabella 15) si riportano i valori di conducibilità idraulica nei terreni insaturi intesi come medie dei valori di riferimento, i quali "possono essere usati qualora si assuma come "stratificazione" semplificata quella proposta dal Modello Fisico del Sito" ("MCS definitivo redatto da NCE nel Maggio 2006").

Tabella 15: Caratteristiche fisiche dei livelli individuate nel MFS (Fonte: "MCS definitivo redatto da NCE nel Maggio 2006")

Tabella 2.2 Caratteristiche fisiche dei livelli individuati nel MFS				
Livello	Profondità da p.c. (m)	Spessore medio (m)	Conducibilità idraulica (m/s)	Permeabilità (cm <sup>2</sup> )
A – Terreno di riporto	0.0 – 1.5	1.5	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup>
B – Limo	1.5 – 3.0	1.5	2.4 * 10 <sup>-5</sup>	2.4 * 10 <sup>-9</sup>
C – Ghiaia	3.0 – 10.0	7.0	5 * 10 <sup>-2</sup>	5 * 10 <sup>-5</sup>
D – Sabbia	10.0 – 30.0	20.0	5 * 10 <sup>-4</sup>	5 * 10 <sup>-7</sup>

### 5.3. Sintesi del Modello Concettuale del sito

Nel presente capitolo è riportata la descrizione del Modello concettuale del sito sviluppato sulla base dei risultati delle indagini ambientali pregresse realizzate nell'area e degli studi svolti.

Tale sintesi deriva da quanto descritto nel documento "Analisi delle concentrazioni dei contaminanti presenti nel sottosuolo dello stabilimento Caffaro di Brescia e Modello Concettuale Definitivo dello Stabilimento" (NCE - Maggio 2006). Gli obiettivi ed i contenuti del modello concettuale (nel seguito MCD) sono quelli definiti in Allegato 2 al Titolo V della Parte quarta - Criteri generali per la caratterizzazione dei siti contaminati – del Decreto legislativo 03.04.2006, n. 152. Come indicato nel D.Lgs.152/06 "l'elaborazione di un modello concettuale definitivo del sito è mirata alla rappresentazione dell'interazione tra lo stato di contaminazione del sottosuolo [...] e l'ambiente naturale e/o costruito. Il modello concettuale costituisce pertanto la base per l'applicazione dell'Analisi di Rischio che dovrà verificare gli scenari di esposizione in esso definiti. Il modello concettuale definitivo include:

- le caratteristiche specifiche del sito in termini di stato delle potenziali fonti della contaminazione (attive, non attive, in sicurezza, ecc);
- grado ed estensione della contaminazione del suolo, del sottosuolo, delle acque superficiali e sotterranee del sito e dell'ambiente da questo influenzato; a tale fine dovranno essere individuati dei parametri specifici di rappresentazione (ad esempio; concentrazione media della sorgente secondaria di contaminazione);
- percorsi di migrazione dalle sorgenti di contaminazione ai bersagli individuati nello scenario attuale (siti in esercizio) o nello scenario futuro (in caso di riqualificazione dell'area)".

#### 5.3.1. Sorgenti Primarie di contaminazione

A valle delle attività di caratterizzazione svolte sono state individuate le seguenti sorgenti primarie di contaminazione (già definite nel documento "Analisi della concentrazione delle sostanze contaminanti presenti nel sottosuolo e modello concettuale definitivo" – NCE 2006).

**Tabella 16: Sorgenti primarie di contaminazione**

<b>Sorgente</b>	<b>Superamenti nei terreni/acque di falda</b>
Arsenico	Porzione sud-orientale del sito, nella quale sono state condotte attività lavorative legate alla produzione di carbonato di calcio e arseniato di piombo dal 1920 al 1976.
Mercurio	<p>Sono state individuate 5 differenti potenziali sorgenti primarie:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1- porzione centrale del sito, nella quale sono state condotte attività lavorative legate essenzialmente all'elettrolisi cloro-soda e clorato dal 1906 al 1997.</li> <li>2- Aree occupate dai gasometri per idrogeno</li> <li>3- Area nella porzione meridionale dello stabilimento deputata alla compressione dell'idrogeno</li> <li>4- Area posta a sud est dello stabilimento dove erano presenti i reparti deputati alla produzione dei Sali di mercurio</li> <li>5- Area posta all'estremo sud-est dello stabilimento nella quale è presente la vasca di neutralizzazione delle acque di scarico dei servizi. (fino agli anni '60)</li> </ol>
Piombo	Porzione sud-orientale del sito. In questa area sono state condotte attività lavorative legate alla produzione di carbonato di calcio e arseniato di piombo dal 1920 al 1976
Rame	Porzione sud-orientale dello stabilimento Caffaro. In questa area erano ubicate le produzioni della pasta Caffaro (ossicloruro di rame e cloruro rameico), dell'ossicloruro e di altri prodotti destinati all'utilizzo in agricoltura. Queste produzioni sono state svolte dagli anni '20 fino al 1975.
PCB, PCN e PCT	<p>Sono state individuate 5 differenti potenziali sorgenti primarie:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1- Area di stoccaggio di Apiroli (prodotti tra il 1936 e il 1984) posta a sud ovest dello stabilimento</li> <li>2- Area impianti Fenclor (cloro difenili), Deca (cloro difenili) e Diolo ed annessi (polialcoli da cloro difenile) ubicata nella porzione sud-occidentale del sito ed attiva per tali produzioni, negli anni compresi tra il 1936 e il 1984.</li> <li>3- Aree adibite in passato allo stoccaggio di cloro paraffina, cloro difenili, cloropolitene e clorocaucchiù. ubicate ad ovest del sito.</li> <li>4- porzione centrale del sito in cui sono state ubicate nel corso degli anni le cabine elettriche di trasformazione, presumibilmente equipaggiate con oli dielettrici contenenti PCB.</li> <li>5- Aree dove in passato erano ubicate le officine elettriche ed i locali di ricezione e conversione dell'energia elettrica (trasformatori contenenti PCB).</li> </ol>
Arsenico	Porzione sud-orientale del sito, nella quale sono state condotte attività lavorative legate alla produzione di carbonato di calcio e arseniato di piombo dal 1920 al 1976.
Mercurio	<p>Sono state individuate 5 differenti potenziali sorgenti primarie:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1- porzione centrale del sito, nella quale sono state condotte attività lavorative legate essenzialmente all'elettrolisi cloro-soda e clorato dal 1906 al 1997.</li> <li>2- Aree occupate dai gasometri per idrogeno</li> <li>3- Area nella porzione meridionale dello stabilimento deputata alla compressione dell'idrogeno</li> <li>4- Area posta a sud est dello stabilimento dove erano presenti i reparti deputati alla produzione dei Sali di mercurio</li> <li>5- Area posta all'estremo sud-est dello stabilimento nella quale è presente la vasca di neutralizzazione delle acque di scarico dei servizi. (fino agli anni '60)</li> </ol>
Piombo	Porzione sud-orientale del sito. In questa area sono state condotte attività lavorative legate alla produzione di carbonato di calcio e arseniato di piombo dal 1920 al 1976
Rame	Porzione sud-orientale dello stabilimento Caffaro. In questa area erano ubicate le produzioni della pasta Caffaro (ossicloruro di rame e cloruro rameico), dell'ossicloruro e di altri prodotti destinati all'utilizzo in agricoltura. Queste produzioni sono state svolte dagli anni '20 fino al 1975.
PCB, PCN e PCT	<p>Sono state individuate 5 differenti potenziali sorgenti primarie:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1- Area di stoccaggio di Apiroli (prodotti tra il 1936 e il 1984) posta a sud ovest dello stabilimento</li> <li>2- Area impianti Fenclor (cloro difenili), Deca (cloro difenili) e Diolo ed annessi (polialcoli da cloro difenile) ubicata nella porzione sud-occidentale del sito ed attiva per tali produzioni, negli anni compresi tra il 1936 e il 1984.</li> <li>3- Aree adibite in passato allo stoccaggio di cloro paraffina, cloro difenili, cloropolitene e clorocaucchiù. ubicate ad ovest del sito.</li> <li>4- porzione centrale del sito in cui sono state ubicate nel corso degli anni le cabine elettriche di trasformazione, presumibilmente equipaggiate con oli dielettrici contenenti PCB.</li> <li>5- Aree dove in passato erano ubicate le officine elettriche ed i locali di ricezione e conversione dell'energia elettrica (trasformatori contenenti PCB).</li> </ol>

Sorgente	Superamenti nei terreni/acque di falda
$\alpha$ HCH, $\beta$ HCH e Lindano	Area posta nella porzione nord-occidentale dello stabilimento Caffaro, interessata in passato dalla presenza dei reparti per la produzione di esaclorocicloesano.
DDD, DDT e DDE	Area dedicata in passato alla produzione di insetticidi ubicata nell'estremità nord-occidentale del sito.
PCDD/PCDF	La presenza quasi ubiquitaria di PCDD/PCDF, non ha permesso di individuare una potenziale area sorgente.
Materiali di riporto di origine antropica, presenti in modo ubiquitario sull'area in esame fino a prof. massima di circa 4 m da p.c., costituiti prevalentemente da mattoni, cemento, scarti industriali e calce. A questi materiali non si applica la procedura di AdR.	

### 5.3.2. Sorgenti Secondarie di Contaminazione

Nel presente paragrafo viene descritto il processo che ha portato all'individuazione delle sorgenti secondarie sulle quali risulta necessario definire le CSR, obiettivi di bonifica.

Tale valutazione ha tenuto in considerazione dell'esigenza del piano di risviluppo dell'area, che prevede di mantenere in sito alcuni edifici storici e del piano di riqualificazione di Via Milano (Progetto "Oltre la Strada – Via Milano 2021", tavole in All. 7). In particolare il Comune di Brescia, con comunicazione del 18 marzo 2019 indicava che la porzione del sito posta a Nord ovest, nell'ottica di riqualificazione dell'area, possa prevedere di essere considerata a destinazione commerciale al fine delle individuazione delle sorgenti secondarie di contaminazione.

Alla luce di tale dichiarazione e considerando quanto previsto dal PGT vigente per le restanti aree del sito e possibile individuare tre distinti settori con vocazione:

- Commerciale/Artigianale/servizi ad asservimento del futuro parco – Area posta a Nord Ovest;
- Parco pubblico - La restante porzione del sito posta a nord di via Emilo Morosini;
- Commerciale/artigianale/servizi – la porzione triangolare del sito posta a sud di via Emilo Morosini.

Conseguentemente i contaminanti indice per l'elaborazione dell'analisi di rischio sito specifica per il sito sono stati definiti tenendo conto delle suddette suddivisioni, facendo riferimento a Terreni Potenzialmente contaminati, ovvero prendendo a riferimento le CSC riportate in Tab. 1, Colonna B e Colonna A, rispettivamente (All. 5, Parte IV del D. Lgs. 152/2006) per i tre settori sopra individuati e, Acque di falda potenzialmente contaminate prendendo a riferimento le CSC riportate in Tab. 2 All. 5, Parte IV del D. Lgs. 152/2006).

Per le acque sotterranee, i contaminanti indice sono stati selezionati a partire dai risultati delle campagne di monitoraggio effettuate negli ultimi due anni, ovvero 2017 e 2018, in corrispondenza dei piezometri interni allo stabilimento, basandosi sui dati dei monitoraggi svolti da ARPA.

I contaminanti indice individuati nei terreni insaturi superficiali e profondi della porzione di aree a destinazione commerciale sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 17: Contaminanti indicatori

COPCs	Area a destinazione verde pubblico		Area a destinazione commerciale		Acque di falda
	Suolo Superficiale (0-1 m da p.c.)	Suolo Profondo (>1 m da p.c.)	Suolo Superficiale (0-1 m da p.c.)	Suolo Profondo (>1 m da p.c.)	
Antimonio	x	x			
Arsenico	x	x	x	x	x
Cobalto	x	x			
Cromo tot					x
Cromo VI <sup>(2)</sup>	x*	x*			x
Ferro					x
Mercurio	x	x	x	x	x
Piombo	x	x	x	x	
Rame totale	x	x	x		
Selenio	x	x			
Stagno	x	x			
Tallio	x	x			
Zinco	x	x			
Idrocarburi C > 12	x	x	x		
PCB totali	x	x	x	x	x
PCN <sup>(1)</sup>	x	x	x	x	
PCT	x	x	x		
Alfa HCH	x	x	x		
beta HCH	x	x			x
Lindano	x	x			
Aldrin	x	x	x		
Dieldrin	x	x	x		
Endrin	x	x			
Clordano	x	x			
DDD, DDT, DDE	x	x	x		
Benzo(a)antracene	x	x			
Benzo(a)pirene	x	x			
Benzo(b)fluorantene	x	x			
Benzo(k)fluorantene	x	x			
Benzo(g,h,i)perilene	x	x			
Crisene		x			
Dibenzo(a,e)pirene	x	x			
Dibenzo(a,l)pirene	x	x			
Dibenzo(a,i)pirene	x	x			

COPCs	Area a destinazione verde pubblico		Area a destinazione commerciale		Acque di falda
	Suolo Superficiale (0-1 m da p.c.)	Suolo Profondo (>1 m da p.c.)	Suolo Superficiale (0-1 m da p.c.)	Suolo Profondo (>1 m da p.c.)	
Dibenzo(a,h)pirene	x	x			
Dibenzo(a,h)antracene	x	x			
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	x	x			
Pirene	x	x			
Clorometano	x	x			
Diclorometano		x			
Triclorometano	x	x			x
1_1_dicloroetilene					x
Tricloroetilene					x
Tetracloroetilene	x				x
1_2_dicloropropano					x
Dibromo cloro metano	x	x			
Clorobenzene		x			
1,2-dicloro benzene	x	x			
1,4-dicloro benzene	x	x			
1,2,4-tricloro benzene	x	x			
1,2,4,5-tetracloro benzene	x	x			
Pentacloro benzene	x	x			
Esacoloro benzene	x	x			
Tetracloruro di carbonio <sup>(3)</sup>		x			x
Somma PCDD/F (conversione TEQ)	x	x	x	x	x

Note:

<sup>(1)</sup> Per i composti PCN e PCT è stato utilizzato come valore di riferimento il limite previsto per i PCB Totali (0,06 mg/kg e 5 mg/kg)

<sup>(2)</sup> Accogliendo la specifica richiesta di ARPA Lombardia, il Cromo VI è stato considerato COPC nei terreni insaturi della porzione di area a destinazione verde in quanto come riportato nei documenti a descrizione dei risultati delle indagini geochimiche e piezometriche redati da ARPA ("Risultati delle indagini geochimiche e piezometriche campagna di gennaio" - giugno 2018), "all'interno dello stabilimento Caffaro è presente una sorgente di contaminazione da cromo esavalente posta presumibilmente in corrispondenza del Pz10".

<sup>(3)</sup> Per il composto Tetracloruro di Carbonio è stato utilizzato come valore di riferimento il limite ISS pari a 0,1 mg/kg nei terreni e pari a 0,15 ug/l nelle acque.

L'analisi delle stratigrafie dei sondaggi eseguiti presso il sito conferma la seguente successione litologica:

- un orizzonte costituito da riporti a varia tessitura, di spessore variabile da pochi decimetri a valori prossimi anche ai 4,5 m; in esso si riscontrano livelli più o meno fini che si estendono fino ad una profondità massima di circa 4-6m da p.c.;

- un orizzonte costituito in prevalenza da ghiaie fino alla profondità di circa 10m da p.c che passano a sabbie prevalenti fino ai 30 m da p.c., all'interno delle quali queste sabbie, alla profondità di circa 23 m da p.c., è stato riscontrato in molti sondaggi un orizzonte più fine costituito da limi e argille, di spessore variabile dal 1 m a circa 3-5 m.
- alla profondità di 30 m da p.c. si incontrano conglomerati da poco cementati a frammisti a tessiture più fini.

Prima di precedere alla definizione delle sorgenti secondarie di contaminazione è stata svolta un'analisi sistematica delle stratigrafie relative alle varie indagini svolte sul sito, finalizzata alla definizione della possibile presenza di materiale antropico. Cautelativamente, laddove nella descrizione dei riporti individuati è stata riscontrata la presenza di materiali riconducibili ad apporti antropici, e alla luce degli esiti dei test di cessione (cfr. Capitolo 4.3), gli stessi sono stati considerati come se contenessero materiali antropici in percentuale superiore al 20%. Tali materiali di riporto non sono stati quindi contemplati all'interno dell'elaborazione di analisi di rischio.

Al di sotto del riporto si rileva la presenza di un livello limoso/limoso sabbioso. che costituisce la parte superiore dei depositi fluviali Würm Auct..I campioni prelevati nell'orizzonte rappresentativo dei conglomerati (oltre i 30 m da p.c.) non hanno mostrato eccedenze delle CSC di riferimento per i terreni industriali/commerciali.

Considerando per ogni livello metrico da p.c. il numero di campioni di terreno prelevati e i superamenti riscontrati è stato possibile individuare degli orizzonti rappresentativi della contaminazione presente in sito. La tabella sottostante sintetizza i risultati della valutazione.

**Tabella 18: Elenco campioni prelevati per profondità - Aree a vocazione commerciale/artigianale/servizi e Area a Parco Pubblico**

STRATO	Aree a vocazione Commerciali/artigianali/servizi		Area a parco		
	N° CAMPIONI	SUPERI CSC commerciale	N° CAMPIONI	SUPERI CSC Verde pubblico	
1	0-1m	11	8	24	23
2	1-2m	34	6	67	61
3	2-3m	6	1	41	30
4	3-4m	1	0	14	14
5	4-5m	10	0	40	24
6	5-6m	-	-	4	4
7	6-7m	-	-	-	-
8	7-8m	1	0	14	1
9	8-9m	-	-	-	-
10	9-10m	15	0	64	33
11	10-11m	-	-	-	-

STRATO		Aree a vocazione Commerciali/artigianali/servizi		Area a parco	
		N° CAMPIONI	SUPERI CSC commerciale	N° CAMPIONI	SUPERI CSC Verde pubblico
12	11-12m	-	-	-	-
13	12-13m	-	-	-	-
14	13-14m	-	-	-	-
15	14-15m	-	-	2	0
16	15-16m	4	0	54	36
17	16-17m	-	-	-	-
18	17-18m	-	-	-	-
19	18-19m	-	-	-	-
20	19-20m	1	0	-	-
21	20-21m	-	-	-	-
22	21-22m	-	-	-	-
23	22-23m	-	-	-	-
24	23-24m	-	-	-	-
25	24-25m	3	0	41	28
26	25-26m	-	-	1	0
27	26-27m	-	-	-	-
28	27-28m	-	-	-	-
29	28-29m	-	-	1	0
30	29-30m	-	-	1	1
31	30-31m	-	-	-	-
32	31-32m	-	-	-	-
33	32-33m	-	-	-	-
34	33-34m	-	-	-	-
35	34-35m	-	-	-	-
36	35-36m	-	-	-	-
37	36-37m	-	-	-	-
38	37-38m	-	-	-	-
39	38-39m	-	-	-	-
40	39-40m	-	-	7	2

La tabella soprastante evidenzia che:

- il maggior numero di campioni sia stato prelevato nei primi 4-5m da p.c.;
- la contaminazione potenziale nelle aree a destinazione d'uso commerciale si limita ai primi metri dal piano campagna;
- la contaminazione potenziale nella porzione destinata a parco si estende in profondità e si rileva anche la presenza di non conformità nell'orizzonte saturo;
- negli orizzonti maggiormente indagati in profondità ovvero 9-10 m, 15-16 m e 24-25 m almeno il 50% dei campioni sia risultato potenzialmente contaminato rispetto alla destinazione d'uso verde.

L'individuazione dei contaminanti rappresentativi delle acque sottostanti il sito è stata svolta considerando i risultati ottenuti dai monitoraggi delle acque di falda condotti da ARPA Dipartimento di Brescia, negli ultimi 2 anni. Nella tabella seguente sono riportati il numero di campioni e la presenza di superamenti delle CSC di riferimento riferiti alle singole campagne svolte.

**Tabella 19: Elenco campioni prelevati nelle acque di falda (2017-2018)**

<b>Campagna</b>	<b>N° CAMPIONI</b>	<b>Numero di campioni con eccedenze della CSC</b>
apr-17	<u>12</u>	<u>12</u>
lug-17	<u>2</u>	<u>0</u>
set-17	<u>13</u>	<u>13</u>
mar-18	<u>20</u>	<u>20</u>
set-18	<u>15</u>	<u>14</u>

Ai fini dell'analisi di rischio, le sorgenti secondarie di contaminazione sono identificate con i comparti ambientali in cui sono stati rilevati superamenti delle CSC indicate dal D.Lgs. 152/06 e le CSR sono calcolate in ciascuna sorgente.

Per la delimitazione areale delle sorgenti secondarie nei terreni e nelle acque sotterranee è stata seguita la procedura indicata dai Criteri Metodologici APAT che prevede:

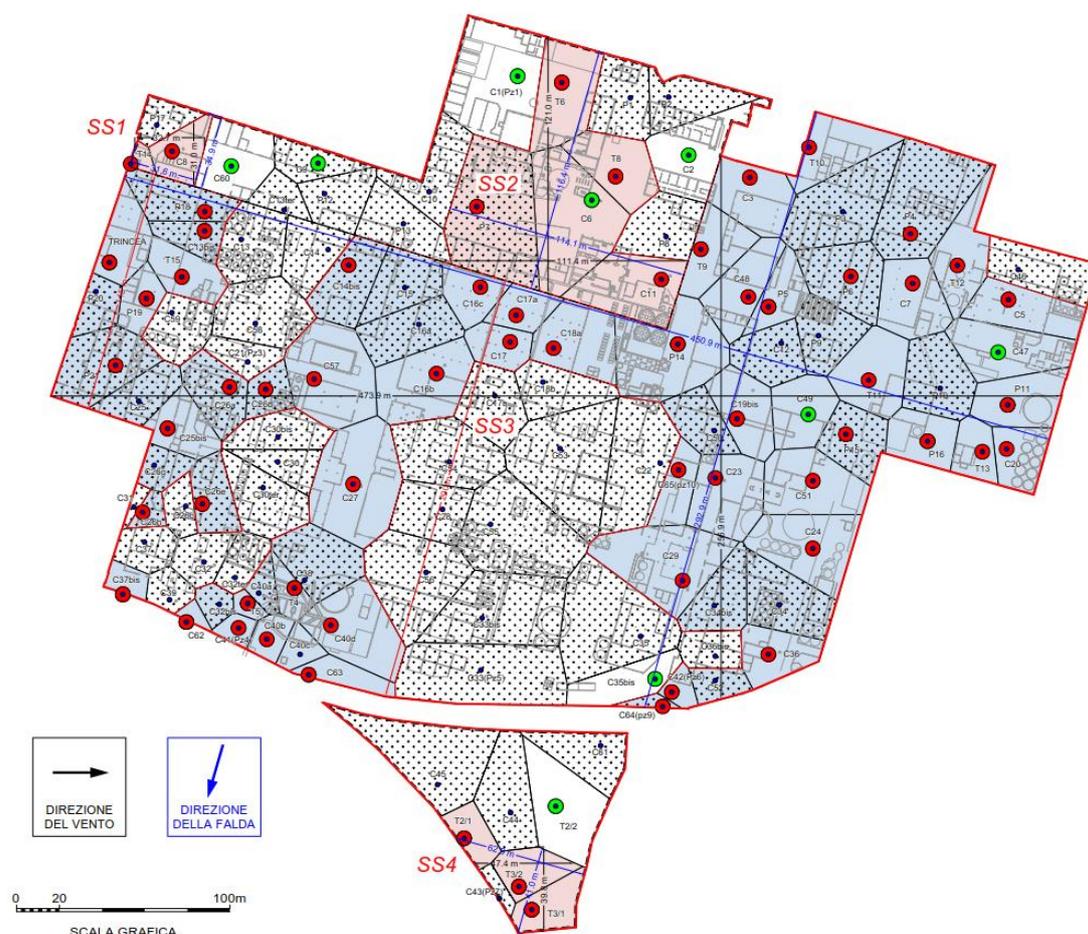
- una suddivisione in poligoni d'influenza dell'area in oggetto sulla base di poligoni di Thiessen;
- la determinazione della continuità spaziale delle sorgenti;
- l'analisi del vicinato dei poligoni/celle con concentrazione minore delle CSC ( $C < CSC$ ).

Le sorgenti secondarie identificate nei terreni insaturi sono state valutate in relazione alla presenza di terreni naturali o di riporto, al netto della presenza di materiali di riporto di origine antropica, che

sono considerati come sorgenti primarie di contaminazione, cui non si applica la procedura di AdR. Gli areali sottesi dai sondaggi ove sono presenti materiali di riporto sono evidenziati con una campitura diagonale nelle Figure 3 e 4 del documento di Analisi di Rischio (All. 1).

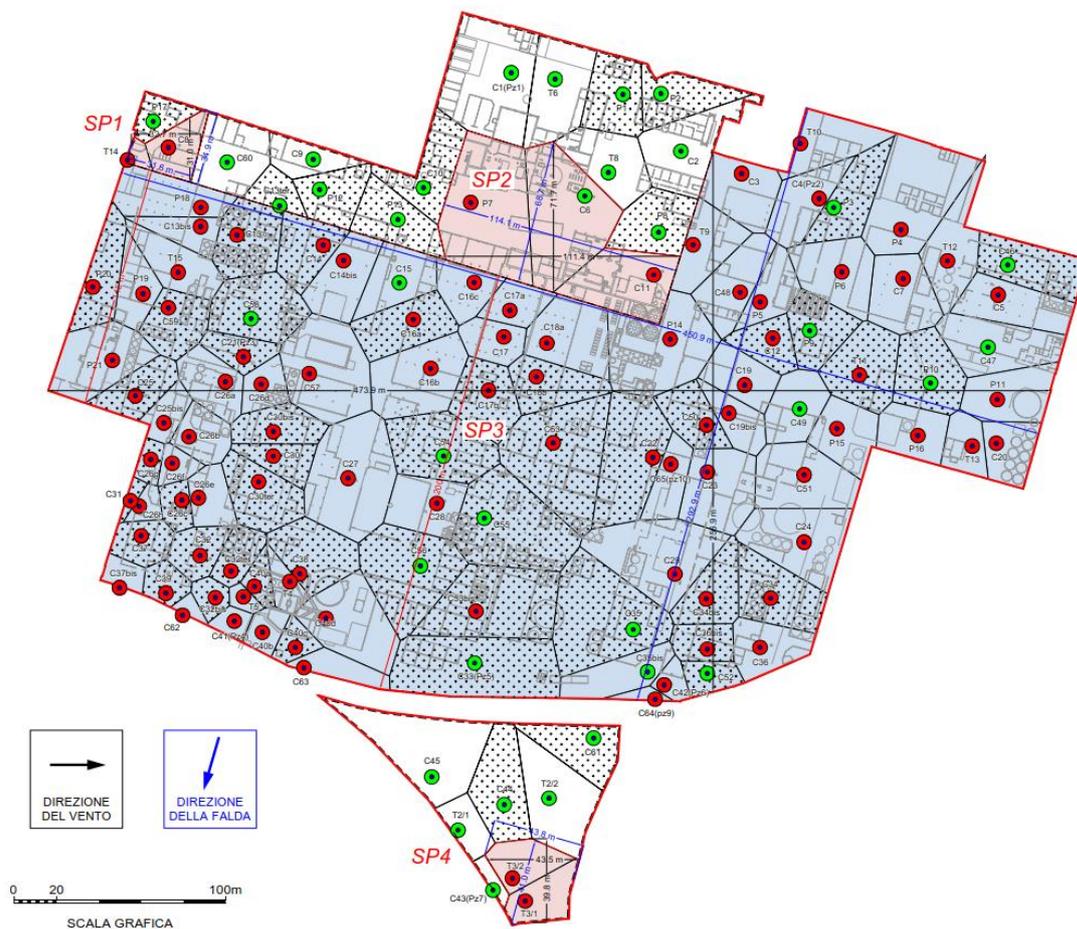
Sulla base dei criteri sopra definiti e sulla base degli esiti delle indagini ambientali condotte in sito sono state individuate:

- n. 4 sorgenti di contaminazione nel terreno insaturo superficiale (0-1 m da p.c.) - Figura 44 seguente
  - Sorgente SS1, posta nella porzione Nord-Occidentale del sito a vocazione commerciale e individuata dai punti di indagine C8 e T14;
  - Sorgente SS2, posta nella porzione Nord-Occidentale del sito a vocazione commerciale e individuata dai punti di indagine T6, T8 P7, C6 e C11;
  - Sorgente SS3, rappresentata dalla porzione centrale del sito a vocazione Verde pubblico;
  - Sorgente SS4, Individuata come l'area a forma triangolare posta a sud della via Emilio Morosini a vocazione commerciale/industriale.



**Figura 44: Sorgenti Secondarie - Superficiali**

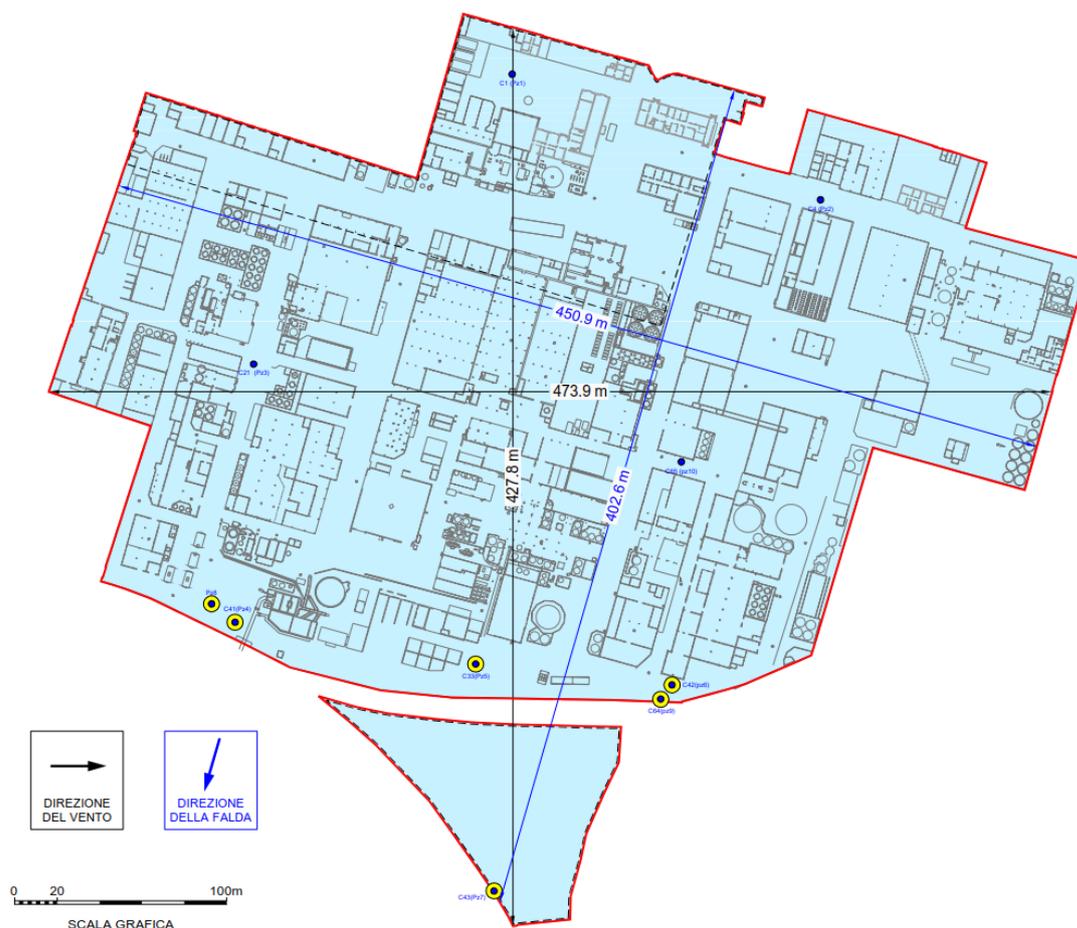
- n. 4 sorgenti di contaminazione nel terreno insaturo profondo (>1 m da p.c.) - Figura 45 seguente:
  - Sorgente SP1, posta nella porzione Nord-Occidentale del sito a vocazione commerciale e individuata dai punti di indagine C8 e T14;
  - Sorgente SP2, posta nella porzione Nord-Occidentale del sito a vocazione commerciale e individuata dai punti di indagine P7, C6 e C11;
  - Sorgente SP3, rappresentata dalla porzione centrale del sito a vocazione Verde pubblico;
  - Sorgente SP4, Individuata come l'area a forma triangolare posta a sud della via Emilio Morosini a vocazione commerciale industriale.



**Figura 45: Sorgenti Secondarie - Profonde**

- n. 1 sorgente nelle acque di falda - Figura 46 seguente, identificata sulla base degli esiti dei monitoraggi condotti negli anni di monitoraggio 2017 e 2018 (ultimi due anni). Cautelativamente, sebbene il protocollo di monitoraggio non ricomprenda l'intera rete piezometrica esistente, la

sorgente è stata posta coincidente con l'intera area del sito Caffaro. Si ritiene opportuno precisare che il tale criterio è stato applicato in via cautelativa ai fini della stima del rischio per la salute umana.



**Figura 46: Sorgente Secondarie – Acque di Falda**

### 5.3.3. Vie di migrazione

I possibili percorsi di migrazione della contaminazione in relazione alla tipologia di composti rilevata nei terreni e nelle acque sotterranee sono di seguito riportati:

- il percorso di volatilizzazione di polveri dai terreni insaturi superficiali, nella futura configurazione a parco, e pertinenze correlate, sarà attivo. Attualmente non è attivo per la presenza della pavimentazione continua sull'intero sito ad eccezione dell'area a sud di Via E. Morosini;

- il percorso di volatilizzazione di vapori dai terreni insaturi superficiali e profondi e dalle acque sotterranee verso l'aria ambiente è attivo, vista la presenza di sostanze volatili in tutte le sorgenti secondarie identificate;
- Il percorso di lisciviazione dal terreno alle acque di falda del primo acquifero. Questo percorso avviene laddove sussiste un'infiltrazione delle acque nel terreno che mobilizzano i contaminanti adsorbiti nel terreno verso le acque sotterranee: è falda è un percorso potenzialmente attivo, vista la correlazione di alcune sostanze rilevate sia nei terreni sia nelle acque di falda.
- migrazione orizzontale della contaminazione dissolta in falda. il trasporto della contaminazione in falda è un percorso attivo vista la presenza dei composti registrati nel corpo idrico sotterraneo in concentrazioni eccedenti le CSC. Il deflusso delle acque avviene in direzione Sud pertanto è stata considerata la migrazione dei contaminanti verso tale direzione ponendo il POC al confine di valle idrogeologica del sito.

#### 5.3.4. Recettori

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

L'analisi ha valutato lo scenario futuro di sviluppo del sito, che vede la realizzazione di un parco e la permanza di aree commerciali di pertinenza (area al confine nord con via Milano e area a Sud del sito, via Morosini).

I possibili recettori che possono entrare in contatto con le sorgenti di contaminazione sopra definite, nella futura configurazione del sito, sono:

- Recettori on site: i **futuri fruitori del parco e lavoratori** delle pertinenze;
- Recettori off site:
  - i **residenti** nelle aree intorno allo stabilimento;
  - i **lavoratori** delle attività industriali/commerciali adiacenti al sito. Per tali recettori, non è stata applicata alcuna procedura di calcolo delle CSR, poiché, i risultati dei calcoli condotti per i lavoratori on site e per i futuri fruitori del parco risultano maggiormente cautelativi;
- Acque sotterranee: ai sensi della normativa vigente è stato imposto il rispetto delle CSC e/o delle massime concentrazioni in ingresso allo stabilimento, ai punti di conformità ubicati lungo il confine di valle idrogeologica del sito (confine meridionale, presso il quale sono installati i piezometri Pz4, Pz8, Pz5, Pz6, Pz9 e Pz7). Dall'analisi dei dati raccolti nella campagna di monitoraggio di marzo 2019, si evince che le acque di falda presentano già in ingresso al sito concentrazioni superiori alle CSC. Nel caso del Cromo esavalente e dei Composti Clorurati – serie degli eteni sono evidenti, in ingresso al sito, concentrazioni superiori alle CSC. Altresì si riconoscono i contributi alla contaminazione delle acque sotterranee da parte delle sorgenti di contaminazione ubicate

all'interno del sito, come nel caso dei metalli (As, Cr VI e Hg), che incidono maggiormente sulla qualità delle acque nella parte orientale del sito, dei solventi clorurati (Tetracloruro di Carbonio e Cloroformio), più evidenti nella porzione centrale e di composti quali PCB e fitofarmaci, che incidono maggiormente nella porzione occidentale.

### 5.3.5. Percorsi d'esposizione

In relazione ai contaminanti rilevati nelle matrici ambientali, alla figura configurazione di sviluppo del sito ed ai recettori individuati, le vie d'esposizione considerate sono le seguenti:

- contatto dermico, ingestione accidentale e inalazione outdoor di particolato dal terreno superficiale: attivi nella futura configurazione a parco dell'area;
- inalazione di vapori outdoor dai terreni insaturi superficiali, profondi, dalle acque della falda: attivi da quelle sorgenti caratterizzate dalla presenza di sostanze volatili, così come definite da ISS, marzo 2018;
- inalazione di vapori indoor dai terreni insaturi superficiali, profondi, dalle acque della falda: attivo per gli edifici che saranno mantenuti all'interno dell'area in esame e per quelli off-site, ubicati a distanza inferiore a 30 m dalle sorgenti identificate.

La possibile esclusione dei percorsi di inalazione vapori indoor e outdoor è stata valutata applicando la linea guida *"Procedura operativa per la valutazione e l'utilizzo dei dati derivanti da misure di gas interstiziali nell'analisi di rischio dei siti contaminati"* SNPA n. 17/2018.

## 6. SINTESI DELL'ANALISI DI RISCHIO E OBIETTIVI DI BONIFICA

L'Analisi di Rischio sanitario ambientale sito specifica (nel seguito AdR) è stata elaborata per lo "Stabilimento Caffaro di Brescia", di proprietà Caffaro Chimica S.r.l. in Amministrazione Straordinaria, in conformità al Decreto Legislativo n. 152 del 3 Aprile 2006 (di seguito D.Lgs 152/06), Titolo V "Bonifica dei Siti Contaminati".

Le attività di caratterizzazione ambientale del sito, effettuate ai sensi del D.M. 471/99, attraverso l'esecuzione di n.4 campagne di indagine nel periodo 2000-2005, hanno evidenziato una contaminazione nel suolo e sottosuolo dello stabilimento, così come riassunto nel modello concettuale definitivo riportato nel capitolo precedente.

La campagna di indagine svolta tra il dicembre 2018 e il marzo 2019 da parte della scrivente in contraddittorio con ARPA Dipartimento di Brescia, ha permesso di determinare i parametri sito specifici relativi al sito e necessari alla redazione dell'AdR.

L'Analisi di Rischio sanitario ambientale sito specifica - Revisione 1 del dicembre 2019 viene riportata in Allegato 1 al presente POB; nel seguito vengono sintetizzati i principali risultati delle elaborazioni.

### 6.1. Metodologia

L'analisi di rischio è stata svolta in modalità backward per la definizione delle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR), quali obiettivi di bonifica dell'area.

L'analisi di rischio è stata realizzata seguendo le linee guida riportate nei "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati- APAT-ISS-ISPEL-ICRAM-ARPA", rev.2, marzo 2008 applicando le metodologie internazionalmente riconosciute per la valutazione del rischio per la salute umana, derivante da situazioni di contaminazione di suoli ed acque sotterranee. Inoltre, la presente Analisi di Rischio tiene conto di quanto indicato delle "Linee-guida sull'analisi di rischio ai sensi del D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii." MATTM, febbraio 2015 e di quanto previsto dai disposti normativi vigenti in Regione Lombardia (D.G.R. n. 8/11348 del 10/02/10). Infine, per la valutazione del rischio da inalazione vapori è stato fatto riferimento alle indicazioni contenute nella "Procedura Operativa per la Valutazione e l'utilizzo dei dati derivanti da misure di gas interstiziali nell'analisi di rischio dei siti contaminati" SNPA 17/2018.

#### 6.1.1. Tutela della salute umana

Le CSR sito-specifiche sono state determinate seguendo l'approccio delineato dai "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio assoluta ai siti contaminati", rev.2 marzo 2008, che riportano: *"L'applicazione dei criteri per il calcolo degli obiettivi di bonifica sito specifici (CSR) individuali, conduce alla individuazione di obiettivi di bonifica che rispettano certamente la condizione di rischio tollerabile per esposizione a singola sostanza. Le CSR individuali così calcolate non rispettano però necessariamente la condizione di rischio cumulativo tollerabile [...] In accordo alla procedura seguita dal software RBCA ToolKit (versioni 1.2 e 2.0), in questi casi è necessario tenere conto degli effetti di cumolazione del rischio, riducendo ulteriormente le concentrazioni delle*

specie presenti rispetto ai valori definiti dalle CSR individuali. Tale riduzione dovrà garantire il raggiungimento di valori di concentrazione tali da rispettare la condizione di rischio cumulativo accettabile (Concentrazione Soglia di Rischio Cumulato). A giudizio degli Enti di Controllo, si potrà intervenire operando una riduzione delle concentrazioni di alcuni contaminanti, in funzione delle tipologie di esposizione, delle caratteristiche tossicologiche, di concentrazione e di distribuzione degli stessi, tenendo in considerazione la disponibilità e l'efficienza/efficacia delle tecnologie di bonifica applicabili al sito oggetto di intervento. Tale riduzione, a giudizio degli Enti di Controllo e sulla base delle suddette indicazioni, potrà essere estesa a tutti i contaminanti presenti, adottando le seguenti equazioni”:

$$CSR_{CUM} = CSR \times TR_{CUM} / TR_{TOT IND}$$

$$CSR_{CUM} = CSR \times HQ_{CUM} / HQ_{TOT IND}$$

Dove:

CSR = Concentrazione Soglia di Rischio individuale del generico inquinante;

TRCUM = Target risk per più sostanze ovvero il rischio individuale accettabile (TRCUM=10<sup>-5</sup>)

TRTOTIND= Rischio cumulativo risultante dai contaminanti presenti nel sito in concentrazione pari alla CSR individuale.

HQCUM = Hazard quotient per esposizione a più sostanze (HQCUM=1)

HQTOT IND= Rischio cumulativo risultante dai contaminanti presenti nel sito in concentrazione pari alla CSR individuale.

Pertanto, i valori di CSR finali corrispondono alle CSR individuali ridotte dei fattori:

TRCUM / TRTOTIND

oppure

HQCUM / HQTOTIND,

dove TRTOTIND è il rischio cumulativo risultante dai contaminanti presenti nel sito in concentrazione pari alla CSR individuale e HQCUM è il rischio cumulativo risultante dai contaminanti presenti nel sito in concentrazione pari alla CSR individuale.

Utilizzando i valori delle CSR cumulative vengono rispettate le soglie di tollerabilità del rischio cumulato, che è successivamente verificato in modalità forward.

#### 6.1.1.1. Criterio di cumolazione dei rischi da più matrici ambientali

I disposti normativi vigenti in Regione Lombardia (D.g.r. n. 8/11348 del 10/02/10) prevedono per la “Modalità di esposizione e rischio sanitario” che: “il calcolo del rischio sanitario sia effettuato sommando i rischi legati a tutte le matrici potenzialmente contaminate e a tutte le vie di esposizione”.

Pertanto, note le sorgenti di potenziale contaminazione (Suolo Superficiale e Profondo, Falda) e le caratteristiche tossicologiche delle sostanze indice, l'elaborazione dell'Analisi di Rischio per il sito ha considerato anche il rischio cumulato dovuto l'esposizione contemporanea a tutte le vie di esposizione provenienti dalle sorgenti di potenziale contaminazione presenti nelle diverse matrici ambientali.

## 6.1.2. Tutela della risorsa idrica sotterranea

Il D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii, con riferimento alla tutela della risorsa idrica sotterranea, impone il rispetto delle CSC o dei valori di fondo approvati dagli Enti di Controllo al punto di conformità.

*“Il punto di conformità per le acque sotterranee”, sulla base di quanto indicato dai suddetti decreti, “rappresenta il punto a valle idrogeologico della sorgente al quale deve essere garantito il ripristino dello stato originale (ecologico, chimico e/o quantitativo) del corpo idrico sotterraneo, onde consentire tutti i suoi usi potenziali [...]. Pertanto in attuazione del principio generale di precauzione, il punto di conformità deve essere di norma fissato non oltre i confini del sito contaminato oggetto di bonifica e la relativa CSR per ciascun contaminante deve essere fissata equivalente alle CSC di cui all'allegato 5 della parte quarta del presente decreto. Valori superiori possono essere ammissibili solo in caso di fondo naturale più elevato o di modifiche allo stato originario dovute all'inquinamento diffuso, ove accertati o validati dalla Autorità pubblica competente, o in caso di specifici minori obiettivi di qualità per il corpo idrico sotterraneo o per altri corpi idrici recettori, ove stabiliti e indicati dall'Autorità pubblica competente, comunque compatibilmente con l'assenza di rischio igienico-sanitario per eventuali altri recettori a valle. A monte idrogeologico del punto di conformità così determinato e comunque limitatamente alle aree interne del sito in considerazione, la concentrazione dei contaminanti può risultare maggiore della CSR così determinata, purché compatibile con il rispetto della CSC al punto di conformità nonché compatibile con l'analisi del rischio igienico sanitario per ogni altro possibile recettore nell'area stessa.”*

Nella precedente revisione dell'Analisi di Rischio sanitario ambientale (AdR) erano stati pertanto definiti obiettivi di bonifica per le acque di falda presso i punti di conformità, valori pari alle Concentrazioni Soglia di Contaminazione, di cui alla Tabella 2 dell'Allegato 5 alla Parte IV del D.Lgs. 152/06 e s.m.i., fatta eccezione per i composti Cromo VI, Cloroformio, 1,1 Dicloroetilene, Tetracloroetilene, per i quali erano proposti i valori obiettivo pari ai valori riscontrati presso i piezometri ubicati a monte idrogeologico all'interno del Sito.

A fronte del parere redatto da ARPA Lombardia in data 23 settembre 2019, è stato svolto uno specifico studio statistico per determinare i valori in ingresso al sito, condotto sulla base della serie storica disponibile per i piezometri esterni al sito, di monte idrogeologico, denominati Pz 4 EST 40, Pz 4 EST 80, Pz 5 EST 40 e Pz 5 EST 80, e della metodologia riportata nel documento “Linee guida per la determinazione dei valori di fondo per i suoli e per le acque sotterranee” Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 14.11.2017 Doc. n20/17”, laddove applicabile.

Le elaborazioni svolte e la metodologia utilizzata per determinare i valori in ingresso al sito nelle acque sotterranee sono riportate nel documento di Analisi Rischio (Allegato 1) annesso al presente POB.

### 6.1.3. Definizione degli obiettivi di bonifica in presenza di CSR<CSC

Al fine dell'individuazione degli obiettivi di bonifica, viene recepito quanto riportato nelle "Linee-guida per l'applicazione dell'analisi di rischio sito-specifica" del MATTM del 2014/2015:

*"le assunzioni conservative alla base dell'applicazione dell'analisi di rischio di livello 2 (Tier II così come definito dagli standard ASTM) e l'utilizzo di parametri chimico fisici e tossicologici associati a scenari di massima esposizione dei bersagli, portano ad ottenere, in alcuni casi obiettivi di bonifica calcolati mediante l'applicazione della procedura di analisi di rischio (CSR) inferiori alle concentrazioni soglia di riferimento (CSC) al superamento delle quali è necessario attivare la procedura di cui all'art.242 del Dlgs 152/06 e ss.mm.ii." [...] "E' evidente che l'adozione di CSR inferiori alle CSC potrebbe portare disparità di trattamento di siti caratterizzati dalle medesime condizioni ambientali. [...] "in assenza di requisiti oggettivi, sito-specifici, che giustifichino l'adozione di obiettivi di bonifica (CSR) più bassi delle CSC queste costituiscono un valore di riferimento." [...] "In conclusione si ritiene accettabile l'adozione da parte dei proponenti delle CSC come obiettivo di bonifica per alcune sostanze, con contestuale applicazione dell'analisi di rischio- sito specifica per le sole sostanze per le quali non si prevede il raggiungimento delle CSC."*

## 6.2. **Obiettivi di bonifica**

Sulla base delle considerazioni e metodologie esposte nelle sezioni precedenti, il calcolo delle CSR è stato effettuato, in accordo al D.Lgs. 152/06 e s.m.i., per le sorgenti secondarie individuate nelle matrici ambientali terreni insaturi superficiali, terreni insaturi profondi e acque di falda, per gli scenari e per i percorsi d'esposizione selezionati, considerando accettabili i valori di rischio cancerogeno singolo e cumulato rispettivamente pari a  $10^{-6}$  e  $10^{-5}$  e i valori di rischio tossico singolo e cumulato pari ad 1. Per i disposti normativi vigenti in Regione Lombardia, conservativamente, sono stati cumulati i contributi da tutte le matrici ambientali.

Le concentrazioni soglia di rischio (CSR) per il suolo insaturo superficiale, profondo e per le acque sotterranee sono state calcolate quindi per le singole aree sorgenti considerate nel presente lavoro per la determinazione degli obiettivi di bonifica a protezione della salute umana e dell'ambiente.

Le CSR sono state per alcuni composti poste pari alle CSC, e pertanto, dell'analisi di rischio-sito specifica è stata applicata per le sole sostanze per le quali non si prevede il raggiungimento delle CSC.

Per verificare se il percorso di inalazione di vapori risulta attivo, si è fatto riferimento alla "Procedura Operativa per la Valutazione e l'utilizzo dei dati derivanti da misure di gas interstiziali nell'analisi di rischio dei siti contaminati" SNPA 17/2018 utilizzando per tale verifica la campagna di monitoraggio soil gas svolta presso il sito in contraddittorio con ARPA nel mese di gennaio 2019.

### 6.2.1. CSR acque di falda

#### 6.2.1.1. *CSR per la salute umana*

L'area sorgente secondaria di contaminazione identificata nelle acque di falda si estende per l'intero sito. I percorsi di esposizione attivi da questa matrice sono l'inalazione di vapori indoor e outdoor. A

valle della verifica del rischio da inalazione vapori eseguita secondo nella linea guida SNPA 17/2018, si riportano nella tabella sottostante le CSR per le sostanze volatili presenti in concentrazioni eccedenti le CSC nelle acque di falda e che mostrano concentrazioni nei soil gas superiori alle Csoglia (Mercurio, Tetracloroetilene, Tricloroetilene, Triclorometano) e per il Tetracloruro di carbonio. I valori di CSR proposti sono tali da verificare la cumulazione dei rischi con le CSR calcolate per i terreni e riportate nei paragrafi seguenti.

**Tabella 20: CSR e confronto con Crappresentativa**

COPCs	Crapp	CSR
	µg/L	µg/L
Mercurio elementare	1,76E+01	6,00E+01*
Triclorometano	1,90E+01	7,92E+01
Tricloroetilene	1,11E+00	1,05E+02
Tetracloroetilene	1,73E+01	2,26E+03
Tetracloruro di Carbonio	1,22E+01	5,55E+01

\* CSR posta uguale al valore di Solubilità

Dal confronto tra le CSR calcolate per le acque sotterranee e le concentrazioni rilevate in falda, poiché queste ultime risultano sempre inferiori alle CSR, si evince come vi sia assenza di rischio sanitario da questa matrice ambientale.

#### 6.2.1.2. CSR per l'ambiente

Le CSR a protezione dell'ambiente sono state poste pari alle CSC al confine del sito o, per alcuni parametri, ai valori definiti attraverso l'apposito studio statistico delle concentrazioni in ingresso al sito. Dal momento che l'area sorgente di contaminazione secondaria si estende per l'intero sito e lambisce il confine, non è stato possibile procedere alla modellazione del percorso di migrazione in falda.

Considerando che sul confine di valle idrogeologica del sito sono installati i piezometri Pz4, Pz8, Pz5, Pz6, Pz9 e Pz7, sono stati rilevati superamenti delle CSC, per le seguenti sostanze:

- Arsenico
- Cromo Totale
- Cromo VI
- Mercurio
- Cloroformio
- 1,1 Dicloroetilene
- Tricloroetilene
- Tetracloroetilene
- 1,2 Dicloropropano
- Tetracloruro di carbonio (confrontato con il limite proposto da ISS)

- $\beta$ -esacloroesano
- PCB.

Dall'analisi dei dati raccolti nella campagna di marzo 2019, che ha incluso anche il campionamento e l'analisi dei piezometri posti a monte del Sito (PZ1 e PZ2) si evince che le acque di falda presentano già in ingresso al sito concentrazioni superiori alle CSC per:

- Cromo VI (concentrazione massima di monte = 34  $\mu\text{g/L}$  vs CSC 5  $\mu\text{g/L}$ )
- PCB (concentrazione massima di monte = 0,15  $\mu\text{g/L}$  vs CSC 0,01  $\mu\text{g/L}$ )
- Cloroformio (concentrazione massima di monte = 5,8  $\mu\text{g/L}$  vs CSC 0,15  $\mu\text{g/L}$ )
- 1,1 Dicloroetilene (concentrazione massima di monte = 0,39  $\mu\text{g/L}$  vs CSC 0,05  $\mu\text{g/L}$ )
- Tetracloroetilene (concentrazione massima di monte = 4,95  $\mu\text{g/L}$  vs CSC 1,1  $\mu\text{g/L}$ )
- Tetracloruro di carbonio (concentrazione massima di monte = 3,04  $\mu\text{g/L}$  vs CSC 0,15  $\mu\text{g/L}$ ).

Nei piezometri esterni di monte Pz 4 EST 80 e Pz 5 EST 80 sono state rilevate storicamente eccedenze per i parametri sopra elencati a conferma della situazione di non conformità delle acque in ingresso al sito.

Tale condizione è verificata per le sostanze sopra elencate, ad eccezione del Tetracloruro di carbonio e dei PCB, che sono stati rilevati in concentrazioni superiori al limite proposto da ISS e alla CSC, in una sola campagna e pertanto tale condizione non si ritiene sufficiente per essere rappresentativa di una contrazione di fondo in ingresso al sito. Per la definizione degli obiettivi di bonifica ai POC, sono state quindi verificate le concentrazioni in ingresso al sito per i composti:

- Cromo VI;
- Cloroformio;
- 1,1 Dicloroetilene;
- Tetracloroetilene.

Lo studio statistico sui valori in ingresso è stato effettuato sulla base del database relativo ai risultati delle attività di monitoraggio effettuate dal Dipartimento di Brescia dell'ARPA a partire dall'aprile 2014 fino al giugno 2019, in corrispondenza dei piezometri posti a monte idrogeologico del sito (Pz 4 EST 40, Pz 4 EST 80, Pz 5 EST 40 e Pz 5 EST 80) relativamente ai composti sopra elencati.

I superamenti delle CSR, pari alle CSC o dei valori rilevati a monte idrogeologico nelle acque di falda ai POC sono riportati in Figura 47.

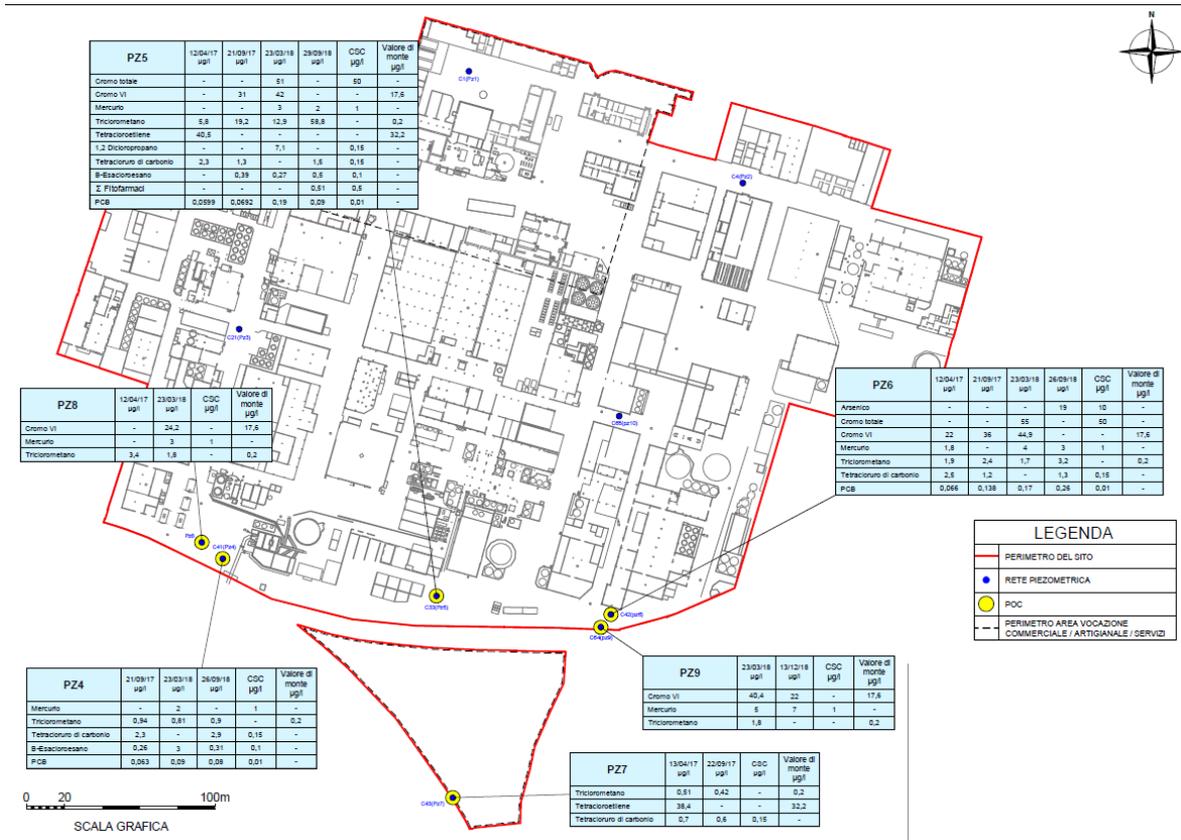


Figura 47: Superamenti CSR – Acque di Falda

Nella tabella seguente sono riportati gli obiettivi di bonifica previsti per le acque di falda al confine del sito, che sono stati posti pari alle CSC o ai valori in ingresso al sito.

Tabella 21: CSR protezione Falda

COPCs	CSR = CSC µg/L	CSR = Concentrazione in Ingresso al Sito µg/L
Arsenico	10	-
Cromo Totale	50	-
Cromo VI	-	17,6
Mercurio	1	-
Cloroformio	-	0,2
1,1 Dicloroetilene	-	1,57
Tricloroetilene	1,5	-
Tetracloroetilene	-	32,2
1,2 Dicloropropano	0,15	-
Tetracloruro di carbonio	1,5	-
β-esaclooesano	0,1	-
PCB	0,01	-

## 6.2.2. CSR terreno

I valori di CSR calcolati per i terreni insaturi e riportati nei paragrafi seguenti sono stati determinati a protezione della salute umana e per l'ambiente.

### 6.2.2.1. Aree adiacenti a via Milano – Utilizzo commerciale

Le sorgenti denominate SS1 ed SP1, ed SS2 ed SP2 sono ubicate nella porzione nord dell'area in esame, e se ne prevede uno sviluppo commerciale, a servizio dell'area che verrà risviluppata a parco. Si prevede contestualmente di lasciare sull'area alcuni edifici storici.

Le tabelle sottostanti riportano i valori di CSR proposte per queste sorgenti ed il confronto con le concentrazioni rappresentative. Così come definito precedentemente, le CSR proposte soddisfano i criteri di cumolazione dei rischi da suolo superficiale, profondo e falda.

**Tabella 22: CSR SS1 e SP1 e confronto con C<sub>rappresentativa</sub>**

COPCs	CSC (mg/kg)	SS1 Cmax (mg/kg)	Obiettivo di bonifica SS1 (mg/kg)	SP1 Cmax (mg/kg)	Obiettivo di bonifica SP1 (mg/kg)
Arsenico	50	295	50*	365,05	365,05
Mercurio	5	37,7	5*	11,9	5*
PCB totali +PCN	5	77,6	5*	23	5*
DDD, DDT, DDE	0,1	52,8	1,5	-	-
Somma PCDD/F (conv. TEQ)	0,0001	0,0033	0,0001*	0,00167	0,00167

\* CSR poste pari alle CSC; in corsivo sono riportate le CSR derivanti dal percorso di lisciviazione

**Tabella 23: CSR SS2 e SP2 e confronto con C<sub>rappresentativa</sub>**

COPCs	CSC (mg/kg)	SS2 Cmax (mg/kg)	Obiettivo di bonifica SS2 (mg/kg)	SP2 Cmax (mg/kg)	Obiettivo di bonifica SP2 (mg/kg)
Mercurio	5	20,62	5*	20,62	5*
Piombo	1000	1427,4	1000*	1427,4	1000*
PCB totali	5	546,0	5*	546,0	5*
Somma PCDD/F (conv. TEQ)	0,0001	0,003	0,0001*	0,003	0,00074

\* CSR poste pari alle CSC; in corsivo sono riportate le CSR derivanti dal percorso di lisciviazione

I superamenti delle CSR rilevati in SS2 ed SP2 sono riportati rispettivamente in Figura 48 e Figura 49 seguenti.

### 6.2.2.2. Area a futuro parco – utilizzo verde/residenziale

Le sorgenti denominate SS3 ed SP3, sono ubicate nella porzione centrale dell'area in esame, della quale si prevede uno sviluppo a parco pubblico. E' previsto che sull'area permanga un edificio storico.

La tabella sottostante riporta i valori di CSR proposte per queste sorgenti. Così come definito precedentemente, le CSR proposte soddisfano i criteri di cumolazione dei rischi da suolo superficiale, profondo e falda.

**Tabella 24: CSR SSS3 e SP3 e confronto con Crappresentativa**

COPCs	CSC (mg/kg)	SS3 Crap (mg/kg)	Obiettivo di bonifica SS3 (mg/kg)	SP3 Crap (mg/kg)	Obiettivo di bonifica SP3 (mg/kg)
Antimonio	10	7,45	10**	1,46	10**
Arsenico	20	228,4	20**	291,4	20**
Cobalto	20	-	-	7,66	33
Mercurio	1	135,5	1**	25,16	1**
Piombo	100	840,2	100**	289	224
Rame totale	120	5844	2220	1374	15269
Selenio	3	3,911	3**	2,43	3**
Stagno	1	20,63	1**	4,02	1**
Tallio	1	1,05	1**	0,32	2,79
Zinco	150	141,1	2000	153,9	1300
Cromo VI	2	-	2**	-	2**
Idrocarburi C > 12	50	390,3	50**	238,4	50**
PCB totali (+PCN+PCT)	0,06	4284	0,06**	170,23	0,06**
Alfa HCH	0,01	0,28	0,01**	2,18	0,01**
beta HCH	0,01	12,7	0,01**	9,2	0,01**
Lindano	0,01	21,37	0,01**	39,13	0,01**
Aldrin	0,01	1,19	0,028	0,0703	0,07
Dieldrin	0,01	0,25	0,017	0,3	0,017
Endrin	0,01	0,12	0,058	0,12	0,058
Clordano	0,01	0,03	0,03	0,03	0,19
DDD, DDT, DDE	0,01	35,41	0,34	8,18	0,34
Benzo(a)antracene	0,5	1,04	0,50	1,79	0,50
Benzo(a)pirene	0,1	1,24	0,12	1,97	0,17
Benzo(b)fluorantene	0,5	1,53	1,22	2,95	1,7
Benzo(k)fluorantene	0,5	1,01	0,84	1,64	0,84
Benzo(g,h,i)perilene	0,1	1,37	0,45	1,93	0,45
Crisene	5	-	-	1,82	8,64
Dibenzo(a,e)pirene	0,1	0,86	0,86	2,13	2,13
Dibenzo(a,l)pirene	0,1	1,46	0,1**	3,02	4,76
Dibenzo(a,i)pirene	0,1	3,46	0,1**	12,51	12,51
Dibenzo(a,h)pirene	0,1	0,26	0,1**	0,18	0,50
Dibenzo(a,h)antracene	0,1	0,46	0,54	0,54	0,54

COPCs	CSC (mg/kg)	SS3 Crap (mg/kg)	Obiettivo di bonifica SS3 (mg/kg)	SP3 Crap (mg/kg)	Obiettivo di bonifica SP3 (mg/kg)
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	0,1	1,33	1,22	1,95	5,6
Pirene	5	2,87	7,35	4,57	15,2
Cloro metano	0,1	0,7	0,1**	0,78	0,1**
Dicloro metano	0,1	-	-	0,4	0,1**
Triclorometano	0,1	0,63	0,1**	0,46	0,1**
Tetracloroetilene	0,5	0,66	0,5**	-	-
Dibromo cloro metano	0,5	1,73	0,5**	0,6	0,5**
Cloro benzene	0,5	-	-	2,1	0,5**
1,2-dicloro benzene	1	4,3	3,9	205	1**
1,4-dicloro benzene	0,1	2,7	0,1**	165	0,1**
1,2,4-tricloro benzene	1	656	8	1542	8
1,2,4,5-tetracloro benzene	1	47,4	1**	4,57	1**
Pentacloro benzene	0,1	17,95	0,4	8,63	0,54
Esacloro benzene	0,05	2,35	0,05**	3,38	0,05**
Tetracloruro di carbonio	0,1*	-	-	2,1	0,1**
Somma PCDD/F (conv. TEQ)	1,0E-05	0,0353	1,0E-05**	0,018	0,29

\* Limite suggerito da ISS \*\* CSR poste pari alle CSC; in corsivo sono riportate le CSR derivanti dal percorso di lisciviazione e in sottolineato sono riportati i valori di Cmax

I superamenti delle CSR rilevati in SS3 ed SP3 sono riportati rispettivamente in Figura 48 e Figura 49 seguenti.

### 6.2.2.3. Area a sud di via Emilio Morosini – utilizzo commerciale/industriale

Le sorgenti denominate SS4 ed SP4, sono spazialmente separate dal resto dell'area in esame, e si prevede il mantenimento nel tempo dell'utilizzo commerciale/industriale. Nell'area non sono presenti edifici e non se ne prevede la costruzione.

La tabella sottostante riporta i valori di CSR proposte per queste sorgenti. Così come definito precedentemente, le CSR proposte soddisfano i criteri di cumolazione dei rischi da suolo superficiale, profondo, e falda.

**Tabella 25: CSR SS4 e SP4 e confronto con Crappresentativa**

COPCs	CSC (mg/kg)	SS4 Cmax (mg/kg)	Obiettivo di bonifica SS2 (mg/kg)	SP4 Cmax (mg/kg)	Obiettivo di bonifica SP2 (mg/kg)
Arsenico	50	530	50*	310	170
Mercurio	5	78	7,1	-	-
Piombo	1000	3036	1000*	-	-
Rame totale	600	4000	4000	-	-

COPCs	CSC (mg/kg)	SS4 Cmax (mg/kg)	Obiettivo di bonifica SS2 (mg/kg)	SP4 Cmax (mg/kg)	Obiettivo di bonifica SP2 (mg/kg)
Idrocarburi C > 12	750	1053	750*	-	-
Alifatici C19-C36	-	481,37		-	-
Aromatici C11-C22	-	571,63		-	-
PCB totali + PCN + PCT	5	623,1	5*	-	-
Alfa HCH	0,1	0,15	0,1*	-	-
Aldrin	0,1	0,74	0,1*	-	-
Dieldrin	0,1	1,79	0,1*	-	-
DDD, DDT, DDE	0,1	13,9	0,34	-	-
Somma PCDD/F (conv. TEQ)	0,0001	0,006182	0,0001*	0,00018	0,00025

\* CSR poste pari alle CSC; in corsivo sono riportate le CSR derivanti dal percorso di lisciviazione

I superamenti delle CSR rilevati in SS2 ed SP2 sono riportati rispettivamente in Figura 48 e Figura 49 seguenti.

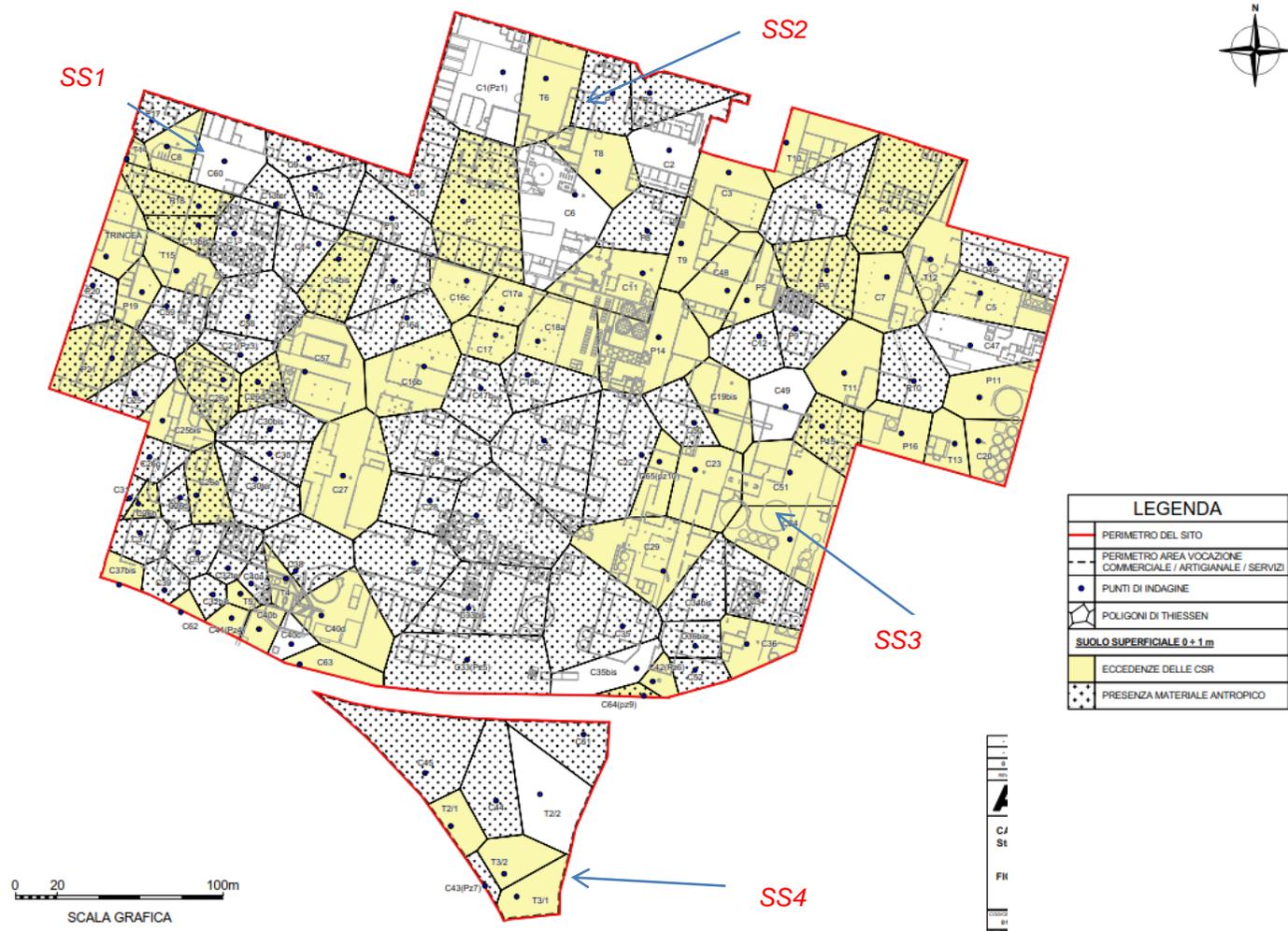


Figura 48: Superamenti CSR – Suoli Superficiali

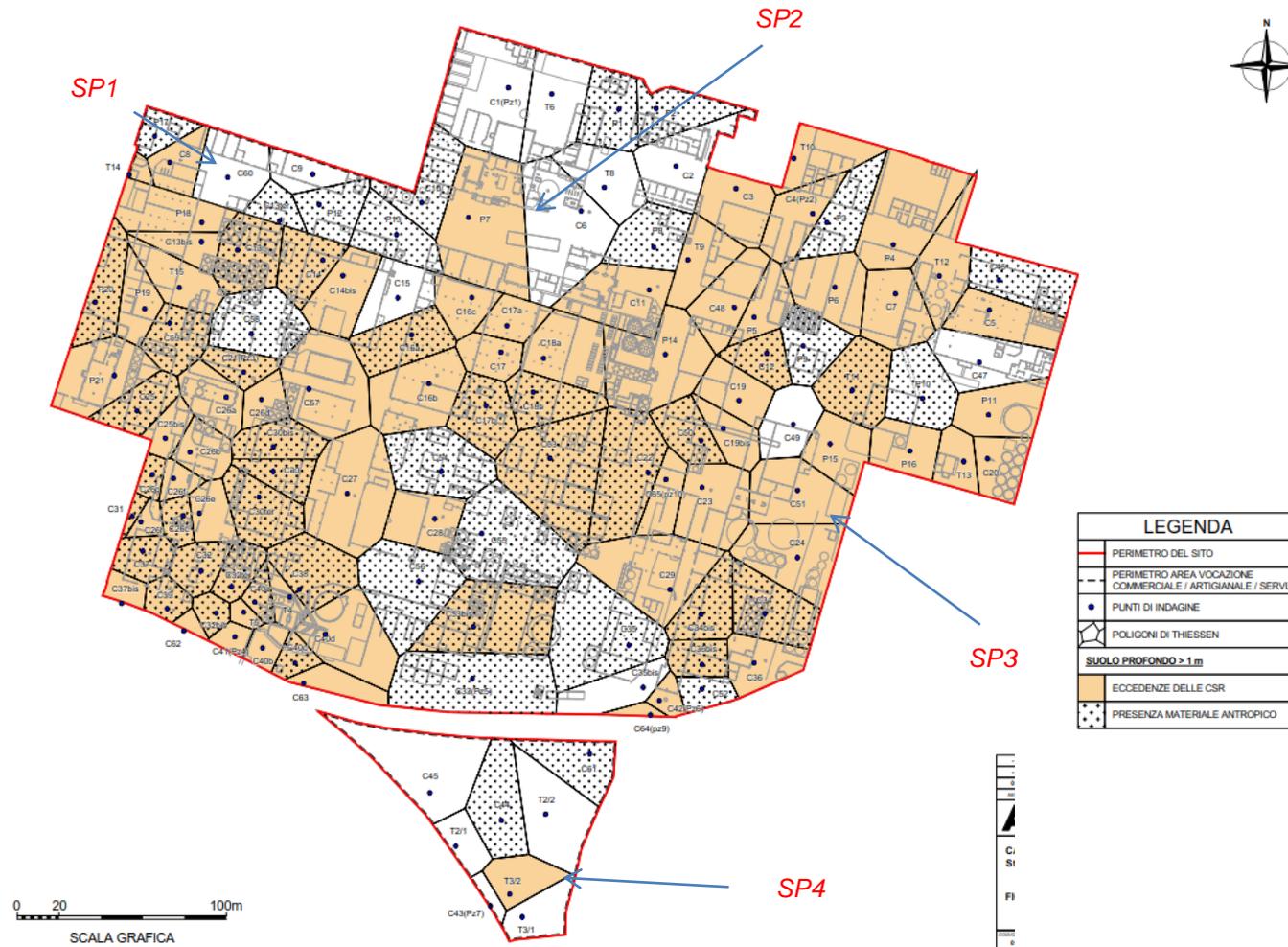


Figura 49: Superamenti CSR – Suoli Profondi

## 7. TECNOLOGIE DI BONIFICA APPLICABILI AL SITO

### 7.1. Fattibilità delle soluzioni progettuali

La scelta della soluzione tecnologica individuata per le opere oggetto del presente progetto è stata effettuata, in accordo con quanto previsto dall'allegato 3 al Titolo V, Parte Quarta del D.Lgs. n. 152/2006 s.m.i., ovvero, cercando di bilanciare vari aspetti, quali in particolare:

- *“il livello di protezione dell'ambiente che sarebbe desiderabile conseguire;*
- *l'esistenza o meno di tecniche affidabili in grado di conseguire e mantenere nel tempo detti livelli di protezione;*
- *l'entità dei costi di progettazione, realizzazione, gestione monitoraggio, etc da sostenere nelle varie fasi dell'intervento.”*

Tale bilanciamento è stato formulato considerando la definizione di "migliori tecniche disponibili", secondo la Direttiva 96/61/CE, recepita nel nostro ordinamento, che per la prevenzione ed il controllo integrati dell'inquinamento di talune categorie di impianti considera tale *"la più efficiente ed avanzata fase di sviluppo di attività e relativi metodi di esercizio indicanti l'idoneità pratica di determinate tecniche a costituire, in linea di massima, la base dei valori limite di emissione intesi ad evitare oppure, ove ciò si riveli impossibile, a ridurre in modo generale le emissioni e l'impatto sull'ambiente nel suo complesso"*, e specifica che si intende per:

- *"tecniche", sia le tecniche impiegate sia le modalità di progettazione, costruzione, manutenzione, esercizio e chiusura dell'impianto;*
- *"disponibili", le tecniche sviluppate su una scala che ne consenta l'applicazione in condizioni economicamente e tecnicamente valide nell'ambito del pertinente comparto industriale, prendendo in considerazione i costi e i vantaggi, indipendentemente dal fatto che siano o meno applicate o prodotte nello Stato membro di cui si tratta, purché il gestore possa avervi accesso a condizioni ragionevoli;*
- *"migliori", le tecniche più efficaci per ottenere un elevato livello di protezione dell'ambiente nel suo complesso.*

In particolare, la scelta della migliore tecnologia applicabile per il caso di inquinamento del sito in oggetto è stata effettuata attraverso un'analisi di screening delle tecnologie disponibili e una valutazione dettagliata delle varie opzioni applicabili, anche in termini di costi – benefici.

### 7.2. Analisi delle tecnologie di bonifica applicabili al sito

#### 7.2.1. Suolo e sottosuolo

Nel paragrafi successivi è introdotta una descrizione generale del principio di funzionamento delle tecnologie applicabili per la riduzione o per il contenimento della contaminazione presso il sito Caffaro di Brescia.

La valutazione dell'applicabilità è stata eseguita valutando l'elemento tecnico, ovvero l'efficacia della tecnologia rispetto alla rimozione dei contaminanti presenti nel sottosuolo e l'impatto economico, inteso sia come costo di investimento che di eventuale gestione degli interventi.

#### 7.2.1.1. Interventi di rimozione mediante scavo

I terreni contaminati possono, in certe condizioni, essere rimossi e previa caratterizzazione, riutilizzati in situ, trattati in situ e/o trasportati off-site presso impianti autorizzati di smaltimento per permettere il loro trattamento.

L'asportazione dei terreni contaminati avviene di norma attraverso le fasi operative nel seguito schematizzate:

- Realizzazione piazzole di deposito preliminare: prima dell'inizio delle attività di scavo dei terreni potenzialmente contaminati è prevista la realizzazione di piazzole di stoccaggio temporaneo del terreno scavato, realizzate con volumetria adeguata al contenimento dei materiali scavati e con idonee caratteristiche atte a non permettere la diffusione della contaminazione nei terreni sottostanti.
- Scavo mediante escavatore: questa fase prevede la realizzazione di una preliminare selezione in base alle evidenze organolettiche in modo da consentire una separazione qualitativa delle frazioni con evidenze di contaminazione da quelle apparentemente inerti. Scavi di profondità maggiore di 3-4 metri dal piano campagna richiedono interventi di stabilizzazione.
- Caratterizzazione dei terreni: questa fase viene realizzata mediante campionamento dei terreni e successiva analisi chimica di laboratorio per stabilire la corretta destinazione dello stesso. La caratterizzazione dei terreni può avvenire direttamente lungo il tracciato di scavo o in cumuli.
- Trasporto e smaltimento/trattamento: i terreni rimossi, successivamente alle attività di caratterizzazione, trasportati mediante autocarri potranno essere avviati a trattamento presso il sito oppure presso impianti di smaltimento autorizzati (generalmente discariche).
- Verifica della qualità del fondo scavo: questa fase prevede il prelievo e l'analisi di campioni di terreno dal fondo scavo al fine di verificare l'eventuale presenza residua di terreni contaminati.
- Ripristino: in seguito alla verifica della qualità del fondo scavo si procede al ripristino delle condizioni originali del sito. I terreni provenienti dai cumuli eventualmente non contaminati potranno essere riutilizzati per il riempimento degli scavi. Il completo ritombamento e ripristino delle aree di scavo sarà realizzato mediante posa di inerti provenienti da cave di prestito.

## Vantaggi:

- la tecnologia permette, quando efficacemente applicabile, l'eliminazione definitiva della sorgente secondaria di contaminazione.

## Svantaggi:

- può arrecare impedimenti all'operatività del sito;
- è necessario rimuovere le strutture che si trovano sopra il nucleo contaminato;
- difficoltà, in caso di volumi elevati, ad individuare impianti di smaltimento autorizzati in grado di ricevere i terreni contaminati;
- possibile impatto sull'ambiente e sugli operatori durante le fasi di scavo, movimentazione e trasporto dei terreni contaminati;
- necessità di interventi di stabilizzazione degli scavi in caso di profondità superiori ai 3 metri;
- l'applicazione risulta economicamente svantaggiosa per grandi volumi di terreno da smaltire.

### 7.2.1.2. Interventi on-site di Soil Washing

Questa tecnica consiste nel lavaggio dei terreni contaminati con un fluido di lavaggio al quale possono essere aggiunti agenti chimici che favoriscono la rimozione dei contaminati (acqua, soluzioni acquose di tensioattivi, biosurfattanti, solventi organici).

I contaminanti sono rimossi dal terreno attraverso due meccanismi: la concentrazione dei contaminati nella frazione fine di terreno e/o la dissoluzione completa dei contaminati nella soluzione acquosa derivante dal lavaggio.

Il primo meccanismo si basa sul principio che la maggior parte della contaminazione presente nel terreno si lega alla frazione più fine del suolo caratterizzata da una superficie specifica più elevata e da un maggior contenuto di sostanza organica. Di conseguenza effettuando una separazione fisica del terreno escavato, è possibile ricavare diverse classi granulometriche con differenti livelli di contaminazione, riducendo notevolmente il terreno da trattare.

Nel secondo caso invece si favorisce la dissoluzione dei contaminati presenti nel terreno nel fluido di lavaggio.

In generale il Soil Washing avviene attraverso le seguenti fasi:

- fase di preparazione del terreno: consiste in una fase di separazione granulometrica del terreno escavato, il cui scopo è di selezionare i materiali più grossolani, dalle frazioni di suolo che devono essere sottoposte a lavaggio.
- fase di lavaggio: tale fase consiste in genere in un processo di miscelazione, lavaggio e separazione granulometrica. Durante la fase di miscelazione il terreno contaminato è posto in contatto con il fluido di lavaggio ad alta pressione, in modo tale da permettere

la dissoluzione dei contaminanti presenti nel suolo nel fluido. Dopo un opportuno tempo di contatto, il suolo trattato viene separato dal fluido. Generalmente vengono separate le particelle grossolane di suolo, le quali vengono recuperate dopo essere sottoposte ad un lavaggio con acqua pulita per la rimozione della contaminazione residua. La frazione fine invece è sottoposta a una fase di sedimentazione.

- fase di trattamento: consiste nel trattamento della fase fine e del fluido di lavaggio. La soluzione acquosa è generalmente inviata ad ulteriori trattamenti tipici della depurazione acque e i fanghi a trattamenti come disidratazione, solidificazione, stabilizzazione, biodegradazione ed incenerimento.

Vantaggi:

- tale tecnica consente di trattare grandi quantità di terreno;
- l'intervento permette di trattare anche terreni con elevata contaminazione;
- consente il trattamento sia dei contaminanti organici sia dei contaminati inorganici;
- può essere utilizzato come pre-trattamento per ridurre il materiale da sottoporre ad ulteriori trattamenti.

Svantaggi:

- l'intervento talvolta può risultare costoso nel caso di utilizzo di ingenti quantità di agenti chimici;
- l'intervento può essere difficilmente applicabile nel caso di elevate concentrazioni di sostanza fine e/o di sostanza organica naturale nel terreno;
- il processo di estrazione della frazione fine può essere difficilmente applicabile e molto costosa nel caso siano presenti miscele di inquinanti con comportamenti differenti.

### *7.2.1.3. Impermeabilizzazione superficiale/messa in sicurezza permanente*

Tale tecnologia consiste nell'impermeabilizzazione superficiale delle aree individuate come contaminate con lo scopo sia di impedire che i composti presenti nel terreno insaturo possano venire in contatto con le acque di infiltrazione meteorica e possano essere lisciviati fino a raggiungere la falda freatica sotterranea, sia di limitare l'eventuale emissione di gas.

L'intervento si realizza impermeabilizzando la superficie del terreno (utilizzando miscele cementizie, manti bituminosi a granulometria molto fine, teli impermeabili ecc.) per impedire l'infiltrazione superficiale e realizzando all'evenienza una adeguata rete di raccolta delle acque meteoriche.

L'impermeabilizzazione superficiale viene generalmente realizzata attraverso un pacchetto impermeabile multistrato composto costituito da materiali naturali (ghiaia, sabbia, argilla, terreno vegetale) ed artificiali (geosintetici).

In generale, partendo dal terreno un pacchetto impermeabile multistrato è costituito dai seguenti strati:

- strato di regolarizzazione: è costituito da uno strato di materiale di regolarizzazione (terreno di adeguata tessitura) il cui scopo è di rendere regolare il piano di posa dei teli impermeabili superiori;
- strato drenante: è costituito da uno strato di materiale drenante naturale (sabbia/ghiaia) di spessore pari a circa 30 – 50 cm o artificiale (geosintetico con adeguate caratteristiche di trasmissività), il cui scopo è di captare eventuali vapori;
- strato di impermeabilizzazione: è costituito da materiale impermeabile il cui scopo è di impedire l'infiltrazione superficiale. Possono essere utilizzati materiali di tipo sintetico (come ad esempio geomembrane di HDPE, LDPE o PVC), oppure materiali naturali (come argilla compattata);
- strato drenante: è costituito da materiali naturali (ghiaia e sabbia) o artificiali (georeti e geocompositi drenanti) il cui scopo è di proteggere lo strato impermeabile sottostante da eventuali forature e di drenare e smaltire l'eccesso di acqua oltre il limite di saturazione dello strato superficiale sovrastante. Lo strato deve essere di adeguato spessore (superiore a 0,5 m) e dotato di opportuna pendenza (circa il 2%);
- strato superficiale: è costituito da materiali compatibili con la destinazione d'uso finale e ha lo scopo di incrementare l'evapotraspirazione, ridurre l'erosione generata dagli agenti atmosferici, migliorare la stabilità del terreno e l'aspetto estetico del paesaggio.

Tra i vari strati del sistema di impermeabilizzazione possono essere installati strati di materiale geotessile, con la funzione di separare e di proteggere i vari strati.

Gli interventi di impermeabilizzazione superficiale possono essere adottati anche per confinare volumi di terreno contaminato in sito, evitando il trasferimento delle matrici contaminate ad altre destinazioni. In questo caso, oltre all'impermeabilizzazione superficiale è possibile prevedere la realizzazione di un'ulteriore barriera impermeabilizzante di fondo al fine di incapsulare i terreni a maggior contaminazione.

Il sistema di impermeabilizzazione superficiale è accoppiato a un sistema di impermeabilizzazione di base avente le seguenti caratteristiche (partendo dal terreno):

- strato di regolarizzazione: è costituito da uno strato di materiale di regolarizzazione (terreno di adeguata tessitura) il cui scopo è di rendere regolare il piano di posa dei teli impermeabili superiori;
- strato di impermeabilizzazione: in materiali di tipo sintetico (come ad esempio geomembrane di HDPE, LDPE o PVC), oppure materiali naturali (argilla compattata).
- strato drenante: è costituito da materiali naturali (ghiaia e sabbia) o artificiali (georeti e geocompositi drenanti) il cui scopo è di proteggere lo strato impermeabile sottostante da eventuali forature e di drenare e smaltire i fluidi che si liberano dall'ammasso di terreni confinati.

Al di sopra del sistema di impermeabilizzazione di base verranno ricollocati i terreni maggiormente contaminati opportunamente livellati al fine di permettere la posa del sistema di impermeabilizzazione superficiale.

Vantaggi:

- l'intervento è veloce e relativamente poco costoso;
- la tecnologia viene applicata in situ, senza rimuovere il terreno;
- sono praticamente nulli i costi di esercizio e manutenzione (O & M) successivi all'intervento;
- minimizza i rischi derivanti dalla dispersione di vapori e polveri in caso di movimentazione di suolo;
- compatibile con il normale svolgimento delle attività produttive/ricreative.

Svantaggi:

- necessita di analisi di rischio per valutare il rischio determinato dalla presenza di contaminanti nel sottosuolo su recettori sensibili.
- non viene rimosso il contaminante presente nel terreno.

#### 7.2.1.4. Interventi di Solidificazione/Stabilizzazione (Jet Grouting)

Questa tecnica, di derivazione geotecnica (consolidamento dei terreni e opere di sottofondazione), consiste nell'introduzione all'interno del terreno contaminato di opportuni reagenti inorganici (come cemento/silicati, calce e argilla) o organici (a base di sostanze termoplastiche o polimeri) al fine di diminuire la mobilità dei contaminanti, attraverso due distinti meccanismi applicabili singolarmente o in sovrapposizione:

- 1) stabilizzazione: che consiste nella trasformazione dei contaminanti in una forma più stabile dal punto di vista chimico;
- 2) solidificazione: che consiste nell'incapsulamento del materiale contaminato al fine di trattenere i contaminanti all'interno di un prodotto solido riducendone la mobilità e quindi la dispersione nell'ambiente.

Tale tecnologia direttamente applicata in-situ (senza scavare il terreno contaminato) comporta l'utilizzo di macchine perforatrici in grado dapprima di smuovere il terreno e poi iniettare il reagente.

Normalmente applicata a scopi geotecnici, per il consolidamento dei terreni e la realizzazione di sottofondazioni di opere infrastrutturali o edifici, la tecnologia del jet grouting ha trovato spazio anche in campo ambientale. In particolare, il jet grouting così inteso ha l'obiettivo di contenere o ridurre gli effetti della mobilizzazione dei contaminanti o di stimolare la biodegradazione dei contaminanti (sistema tipo BioJet). L'applicazione proposta, si riferisce alla disgregazione, miscelazione e rioccupazione dei vuoti del terreno mediante un getto fluido costituito da una miscela cementizia e si compone delle fasi operative nel seguito descritte:

- perforazione, eseguita a rotazione con una batteria di aste, dotata al piede di un raccordo portaugelli (monitor) e di un utensile tagliente. Il fluido di perforazione, che deve garantire la stabilità del foro in tutte le fasi della lavorazione, è una miscela cementizia, eventualmente ricircolata. Per l'attraversamento di murature o calcestruzzo si impiegano appositi utensili di pre-perforazione;
- raggiunta la quota di progetto, viene dato avvio alla fase di taglio ed erosione del terreno circostante il foro, dando pressione al fluido di taglio in modo che questo fuoriesca dall'ugello con un getto ad altissima energia. La costruzione dell'elemento portante procede da fondo foro in risalita e produce il refluito a bocca foro del volume eccedente di acqua-terreno-miscela cementizia. L'adeguatezza dei parametri esecutivi prescelti deve essere continuamente verificata;
- contemporaneamente al getto di taglio viene pompata miscela cementizia sotto pressione che si mescola e si omogeneizza con il terreno tagliato e rimescolato. La stabilità del manufatto, fino al definitivo indurimento del legante, viene garantita grazie alla densità maggiore rispetto al terreno circostante.

#### Vantaggi:

- utilizzabile per il confinamento d'inquinanti recalcitranti e persistenti (per es. metalli pesanti, PCB, Diossine);
- richiede attrezzature e materiali di generale semplice approvvigionamento;
- tempi di esecuzione relativamente brevi grazie alla generale alta produttività di cantiere;
- agevole gestione e controllo dei volumi da assoggettare al trattamento di jet grouting grazie al computer di bordo delle macchine operatrici.

#### Svantaggi:

- la solidificazione in situ non rimuove la contaminazione ma si limita a incapsulare i contaminanti;
- incertezze associate al comportamento a lungo termine (sulla lunga durata l'erosione, la diffusione e gli usi futuri dell'area potrebbero liberare gli agenti inquinanti);
- può richiedere sistemi di manutenzione, protezione e monitoraggio di lungo termine.

#### 7.2.1.5. Soil Replacement

Questa tecnica trova anch'essa parallelo, o provenienza, dall'ambito geotecnico e in particolare per i pali gettati in opera entro cassaforma metallica (tuboforma), prevede di eseguire lo scavo mediante perforazioni anche di grande diametro ( $\varnothing > 1.8$  m) e la sostituzione dei terreni contaminati con materiale di riempimento pulito. L'obiettivo della tecnologia è la sostituzione completa del terreno fino alla massima profondità di scavo, in assoluto al fine di rimuovere integralmente la sorgente secondaria di contaminazione nei terreni. La trivellazione all'interno del rivestimento viene eseguita passo-passo con "procedura Kelly", cioè mediante una barra telescopica per la trasmissione meccanica allo strumento di perforazione.

Il materiale estratto viene caricato direttamente su mezzi gommati per essere depositato nell'area di stoccaggio temporanea (idealmente le baie di carico dell'impianto di soil Washing immaginato per il trattamento on site, dei terreni diversamente scavati sull'area dello Stabilimento della Caffaro a Brescia).

Dopo l'estrazione del terreno contaminato viene eseguito un lavaggio del foro con acqua pulita e il successivo riempimento con terreno conforme e di caratteristiche idonee, ciò in rapporto anche alla granulometria naturale dei terreni in posto. Contestualmente, l'eventuale l'acqua spostata dal riempimento viene estratta attraverso una pompa ed inviata ad un impianto di trattamento opportunamente progettato (idealmente quello già asservito all'impianto di soil washing, ovvero quello per il trattamento delle acque di falda), per essere decontaminata e riutilizzata nel ciclo di lavoro.

Vantaggi:

- la tecnologia permette, quando efficacemente applicabile, l'eliminazione definitiva della sorgente secondaria di contaminazione;
- diventa vantaggioso in termini di costi e benefici, se le profondità di scavo sono elevate e se lo stesso deve essere effettuato in falda;
- non necessita di opere di sostegno al netto del tuboforma nel corso dello scavo;
- permette di procedere con i rinterri contestualmente all'attività di scavo, restituendo da subito l'area fruibile ai mezzi d'opera.

Svantaggi:

- interferenze con l'operatività del sito (non applicabile nel caso della presumibile dismissione del sito);
- è necessario rimuovere le strutture, e i terreni eventualmente conformi, che si trovano sopra le sorgenti secondarie di contaminazione in ipotesi da rimuovere;
- difficoltà, in caso di volumi elevati, ad individuare impianti di smaltimento autorizzati in grado di ricevere i terreni contaminati (facilmente risolvibile, nel caso di utilizzo on site di un impianto di soil washing);
- possibile impatto sull'ambiente e sugli operatori durante le fasi di perforazione, movimentazione e trasporto dei terreni contaminati;
- l'applicazione risulta economicamente svantaggiosa per grandi volumi di terreno da scavare.

#### 7.2.1.6. Ossidazione Chimica In Situ (ISCO)

Questa tecnologia è basata sul trattamento chimico in situ (In Situ Chemical Oxidation - ISCO) della matrice contaminata mediante l'applicazione di specifici reagenti chimici ossidanti in grado di degradare i contaminanti presenti nel sottosuolo in sostanze meno tossiche o innocue (nel caso dei composti organoclorurati i prodotti finali di degradazione del contaminante sono principalmente anidride carbonica e ione cloruro).

I quattro principali reagenti utilizzati sono i seguenti:

- ione permanganato ( $MnO_4^-$ );
- ione persolfato ( $S_2O_8^{2-}$ );
- reagente di Fenton ( $H_2O_2$  e Fe II);
- ozono ( $O_3$ ).

La soluzione contenente il reagente ossidante viene generalmente introdotta nel sottosuolo mediante iniezione diretta (direct push) o attraverso pozzi di iniezione appositamente realizzati.

Al contrario degli altri ossidanti, l'ozono è un composto gassoso ed in seguito alla reazione non lascia altro residuo che  $O_2$ . L'ossidazione con ozono è applicabile sia mediante l'utilizzo del composto disciolto in soluzione acquosa, di migliore gestione, sia attraverso l'iniezione di una miscela di aria e  $O_3$  gassoso, direttamente nella zona satura/insatura. In questi termini risulta una tecnica di intervento di ossidazione compatibile sia con i terreni saturi che insaturi.

I processi basati sull'applicazione di soluzioni liquide prevedono l'iniezione di acqua ozonizzata (ozono e acqua) o l'applicazione di perozono (ozono e perossido di idrogeno). In questi casi l'ozono viene iniettato in fase disciolta e segue i meccanismi di distribuzione nel sottosuolo tipici della fase liquida come nel caso di altri ossidanti.

I due fattori critici nell'applicazione di processi ISCO sono la distribuzione efficace dei reagenti nella zona di trattamento e la reattività del composto ossidante con la contaminazione in situ. Condizioni e parametri specifici del sito, in combinazione con le caratteristiche specifiche dell'ossidante, devono essere attentamente considerati per determinare l'applicabilità della tecnologia.

Le fonti di letteratura evidenziano generalmente una scarsa efficacia del permanganato e del persolfato attivato nella degradazione dei PCB.

Diversi studi hanno verificato che suoli contaminati da PCB possono essere trattati attraverso processi di ossidazione attraverso l'utilizzo di perossido di idrogeno catalizzato (CHP) in condizioni fortemente ossidanti (elevate concentrazioni).

Sono stati inoltre sviluppati alcuni processi avanzati di ossidazione (Advanced Oxidative Processes - AOPs) che coinvolgono l'utilizzo di  $O_2$ ,  $H_2O_2$ ,  $TiO_2$ , raggi UV, ed altri agenti ossidanti capaci di favorire la generazione di radicali liberi (OH), potenzialmente in grado di degradare una vasta gamma di composti organici fra cui anche i PCB.

Vantaggi:

- possibilità di operare in situ, senza movimentazione delle matrici contaminate;
- incremento dei meccanismi di desorbimento e trasferimento di massa;
- tempistiche di trattamento potenzialmente ridotte;
- possibilità di abbinamento con tecniche di Biorisanamento e Attenuazione Naturale Controllata.

Svantaggi:

- efficacia da valutare in campo mediante test pilota;
- condizioni del sottosuolo eterogenee possono limitare l'efficacia dell'intervento;
- bassa persistenza di alcuni ossidanti (elevata reattività);
- potenziale sviluppo di sottoprodotti.

### 7.2.1.7. *In Situ Soil Flushing*

Il Soil Flushing (SF) è una tecnica di trattamento di suoli contaminati, in condizioni sature o insature, che prevede il lavaggio del suolo a mezzo di un fluido immesso nel sottosuolo per favorire la mobilizzazione e l'estrazione dei contaminanti.

L'intervento si realizza mediante l'immissione di un fluido di lavaggio, da recuperare poi a valle, con l'obiettivo di trasferire i composti contaminati dalla matrice solida alla fase liquida. Per consentire l'immissione ed il recupero del fluido di lavaggio vengono realizzati appositi pozzi di iniezione ed estrazione.

Solitamente il fluido di lavaggio è costituito da acqua o da una soluzione, eventualmente riscaldata o additivata con composti idonei a favorire il trasferimento dei contaminanti dalla fase solida a quella liquida (tensioattivi, alcool, acidi, basi, reagenti ossidanti o riducenti, agenti chelanti).

Nello specifico l'acqua favorisce l'estrazione di costituenti idrosolubili; soluzioni acide possono essere utilizzate per rimuovere metalli o materiali organici basici; soluzioni basiche possono essere utilizzate per alcuni metalli (come zinco, stagno o piombo) e alcuni fenoli; agenti chelanti, complessanti e riducenti sono utilizzati per recuperare alcuni metalli; i cosolventi (alcool) sono generalmente efficaci per alcuni prodotti organici; i tensioattivi possono favorire la rimozione di sostanze organiche idrofobiche. Il riscaldamento della soluzione di lavaggio può anche favorire la mobilizzazione dei contaminanti organici.

I contaminanti vengono mobilizzati mediante meccanismi di solubilizzazione, formazione di emulsioni o reazione chimica con la soluzione di lavaggio.

Dopo il passaggio attraverso la zona contaminata il fluido di lavaggio arricchito di contaminanti viene estratto ed inviato a smaltimento o trattamento per riutilizzo / reiniezione.

L'utilizzo di surfattanti e/o cosolventi si è dimostrata efficace per diversi tipi di DNAPL, inclusi solventi di sgrassaggio esausti (TCE e TCA), solventi per la pulizia a secco (PCE), oli combustibili pesanti e catrame di carbone / creosoto. Test di laboratorio hanno inoltre dimostrato l'applicabilità per oli minerali contenenti PCB.

Vantaggi:

- efficace per l'estrazione di contaminanti disciolti o adsorbiti sulla matrice terreno;
- relativa facilità di realizzazione e disturbo limitato per le attività in sito;
- può essere facilmente combinato con altre tecnologie;
- riduzione dei tempi di trattamento rispetto al solo Pump&Treat.

Svantaggi:

- necessità di monitoraggio accurato;
- potenziale rischio di dispersione del liquido di lavaggio e del contaminante mobilizzato;
- struttura e stratificazione del suolo possono limitare l'efficacia dell'intervento;
- difficilmente applicabile in suoli con bassa conducibilità idraulica.

#### 7.2.1.8. Adsorbimento e riduzione chimica (Trap&Treat)

Si tratta di una tecnologia di bonifica in situ che prevede l'iniezione nel sottosuolo di prodotti a base di carbone attivo vergine specificatamente brevettati per favorire l'adsorbimento dei contaminanti sul carbone attivato e la successiva degradazione degli stessi.

Nell'ambito della tecnologia Trap&Treat® ricade il prodotto BOS100®, appositamente ingegnerizzato a partire da carbone attivo vergine e ferro zero valente (ZVI) per favorire la degradazione dei solventi clorurati. Il processo manifatturiero del prodotto consente di ottenere un carbone attivo granulare, impregnato con ferro metallico formato in condizioni riducenti a temperature attorno agli 850 gradi Celsius; a tali temperature, il ferro metallico va infatti a dissolversi parzialmente nel carbone formando un materiale con capacità superiori a quelle del ferro zero valente in termini di gamma di composti alogenati degradabili e tassi di riduzione. Al termine del processo il prodotto contiene approssimativamente il 6.5% in peso di ferro metallico.

Il prodotto viene tipicamente miscelato con acqua per creare una sospensione che può essere applicata mediante iniezione diretta nel sottosuolo o mediante scavo o miscelazione del terreno. I prodotti finali delle reazioni di degradazione includono ferro disciolto, cloruro e gas non regolamentati come etilene e metano.

Un ulteriore sviluppo della tecnologia è il prodotto CAT100®, una combinazione del prodotto BOS100 con tecnologie di trattamento di tipo biologico. Il trasferimento di elettroni, alla base dei processi di degradazione di contaminanti, è stimolato dal legame ferro-carbonio che si forma nel momento in cui il contaminante è adsorbito su BOS100. Il flusso di elettroni all'interno del sistema ferro-carbonio è garantito dalla lenta degradazione di carboidrati complessi e peptidi che vengono forniti da un substrato organico a lento rilascio (amido), prontamente fermentabile a cura di una serie di microrganismi non patogeni. Nello specifico si utilizza una miscela di organismi il cui unico scopo è degradare l'amido nei suoi costituenti monomerici e zuccheri a basso peso molecolare. Questi

costituenti a basso peso molecolare sono prontamente utilizzati da una seconda miscela di microorganismi in grado di degradare i solventi clorurati.

Questa combinazione di substrato a lento rilascio, miscele di microrganismi mirati ai contaminanti e alla riduzione del substrato complesso e la connettività elettrica della legame ferro-carbonio consentono una rapida degradazione di una vasta gamma di contaminanti alogenati. In questo processo il ferro metallico facilita la degradazione catalitica del contaminante senza un significativo esaurimento del ferro. Questo ciclo consente di degradare una massa molto maggiore di contaminanti rispetto a quella che stimata in base alla semplice domanda di ferro.

Vantaggi:

- possibilità di operare in situ, senza movimentazione delle matrici contaminate;
- abbinamento di tecniche di adsorbimento con processi di riduzione chimica e biologica.

Svantaggi:

- efficacia da valutare in campo mediante test pilota;
- difficilmente applicabile per la zona insatura;
- potenziale sviluppo di sottoprodotti.

#### 7.2.1.9. Soil Vapour Extraction (SVE)

La tecnologia di bonifica in situ Soil Vapour Extraction consente la rimozione di composti organici volatili (VOC) adsorbiti al terreno insaturo attraverso l'applicazione di un certo grado di depressione e l'estrazione dei gas interstiziali dal sottosuolo mediante appositi pozzi. Il flusso di aria aspirato dal sistema viene depurato generalmente mediante filtrazione su carboni attivi e infine rilasciato in atmosfera.

Tale tecnologia risulta inefficace per la maggior parte dei contaminanti presenti in sito, in quanto poco volatili (PCB, pesticidi ed inorganici), ma può essere invece particolarmente cost/effective per applicazioni localizzate finalizzate alla rimozione di alcuni composti volatili, grazie alla elevata permeabilità del sottosuolo che permette il raggiungimento di raggi di influenza particolarmente elevati.

Tale tecnologia sarà dunque implementata per interventi localizzati in corrispondenza di sorgenti di solventi clorurati (quali ad esempio tetracloruro di carbonio e clorometano) nella porzione insatura del sottosuolo.

Vantaggi:

- tecnologia consolidata ed efficace su sostanze volatili e semivolatili;
- possibilità di operare in situ, senza movimentazione delle matrici contaminate;

- applicabile anche su sorgenti nei terreni profondi;
- può essere facilmente combinata con altre tecnologie
- vantaggi proporzionali alla permeabilità del terreno.

Svantaggi:

- necessità di trattamento dei vapori estratti;
- non efficace su sostanze inorganiche e composti poco volatili come PCB e diossine.

#### 7.2.1.10. *Desorbimento Termico*

Per poter rimuovere dal sottosuolo insaturo o saturo i contaminanti organici volatili e semivolatili in maniera efficiente è possibile ricorrere al desorbimento termico. Tale tecnologia è applicabile sia con tecniche in situ sia con tecniche on-site. L'obiettivo del trattamento è quello di portare il terreno a temperature comprese tra 70 e 550 °C o comunque prossime alla temperatura di evaporazione dei contaminanti presenti nei terreni. Tale innalzamento della temperatura permette di agevolare e accelerare il passaggio dei contaminanti alla fase vapore. I vapori in seguito vengono poi catturati mediante un opportuno sistema di estrazione, per essere poi indirizzati ad una opportuna filiera di trattamento.

Il desorbimento termico in-situ avviene per riscaldamento del terreno mediante applicazione di radiofrequenze oppure di resistenze elettriche. Contemporaneamente è necessario aspirare i vapori mediante opportuno sistema che permetta di collettare tali vapori in superficie per successivo trattamento specifico.

Vantaggi:

- possibilità di operare in situ, senza movimentazione delle matrici contaminate;
- l'utilizzo di resistenze elettriche permette il riscaldamento di terreni anche in profondità (20-25m);
- agisce bene in profondità anche su sostanze semivolatili quali TCE, PCE e PCB).

Svantaggi:

- efficacia da valutare in campo mediante test pilota;
- difficoltà nel collettamento dei vapori in superficie;
- necessità di trattamento dei vapori estratti;
- inefficace su sostanze inorganiche;
- costi generalmente elevati.

Il desorbimento termico on-site consiste invece nella gestione del terreno scavato mediante il riscaldamento in opportuni sistemi al fine di permettere la evaporazione delle sostanze organiche volatili e semivolatili. presenti nella matrice (terreni, fanghi, sedimenti)

da bonificare attraverso un fluido di trasporto che può essere alternativamente costituito da aria, gas di combustione o gas inerte. I contaminanti trasportati dai gas possono essere trattati attraverso unità di post-combustione, o separati tramite un sistema a carboni attivi, o alternativamente possono essere recuperati per condensazione.

I diversi tipi di trattamento si differenziano sul tipo di unità di desorbimento adottato; la matrice solida contaminata viene sottoposta a riscaldamento, diretto o indiretto, a temperature variabili da 150 a 650 (°C), così da provocare la migrazione dell'inquinante verso la fase gassosa, che dovrà essere sottoposta a idonei trattamenti di decontaminazione.

Tale processo permette la sola volatilizzazione dei contaminanti ma non consente alti livelli di distruzione delle molecole, sebbene le temperature elevate di alcuni sistemi (anche 1000°C), favoriscano una locale ossidazione o pirolisi; la tecnica inoltre non è da confondere con l'incenerimento, in quanto la distruzione dei contaminanti non è il risultato desiderato.

Come già anticipato il sistema di riscaldamento può essere sia diretto che indiretto. Il primo prevede una fiamma che interagisce direttamente con i terreni contaminati e il sistema indiretto premette invece il riscaldamento del terreno contaminato mediante scambio di calore senza che il terreno venga a contatto con eventuali fiamme.

In entrambi i casi l'efficacia del sistema dipende dalle temperature raggiunte dal sistema e dal tempo di residenza del terreno nell'impianto.

Vantaggi:

- più facile gestione della fase vapore.
- permette una miglior verifica dei risultati del trattamento;
- mediante sistemi di riscaldamento che prevedono anche la gestione dei terreni in depressione è possibile abbassare la temperatura di esercizio dell'impianto.

Svantaggi:

- efficacia da valutare in campo mediante test pilota;
- necessita dello scavo del terreno;
- Inefficace su sostanze inorganiche.

## 7.2.2. Acque sotterranee

Le tecnologie di messa in sicurezza delle acque di falda si possono sostanzialmente distinguere in tre tipologie di intervento:

- Source Control, che consiste nell'intervento diretto sulla sorgente di contaminazione presente in falda ed è volto all'interruzione della sua dissoluzione in falda.

- Plume Control allo scopo di interrompere la propagazione della contaminazione all'esterno del sito o dell'area di competenza senza di fatto rimuovere, in modo sostanziale, la massa di contaminante dissolta presente nelle aree sorgente.
- Confinamento Fisico allo scopo di delimitare, mediante barriere fisiche, le sorgenti di contaminazione e la contaminazione disciolta, spesso per l'effettiva infattibilità tecnico/economica della conduzione di una bonifica del sito.

Interventi di messa in sicurezza di emergenza della falda (sostanzialmente assimilabili ad un plume control) sono già attivi presso il sito di interesse.

Azioni di risanamento e bonifica delle acque di falda possono essere eventualmente integrate con le tipologie di intervento sopra citate.

Ovviamente solo la bonifica dei terreni contaminati, saturi ed insaturi e/o l'interruzione dei percorsi di lisciviazione delle acque che si infiltrano nel sottosuolo, può portare ad una soluzione definitiva riguardo la bonifica delle acque di un sito.

#### 7.2.2.1. Valutazione delle tecnologie potenzialmente applicabili alla zona satura

Le caratteristiche peculiari del Sito, già ampiamente discusse in questa sede ed in precedenti studi analoghi e nel seguito brevemente richiamate, costituiscono fattori limitanti nella disamina delle possibili tecnologie applicabili alla zona satura:

- Elevata profondità della base acquifero, elevata conducibilità idraulica e trasmissività.
- Significativa soggiacenza della falda, generalmente superiore a 25 m.
- Eterogeneità della contaminazione;
- Presenza di orizzonti a minore permeabilità, costituiti sia da livelli a granulometria fine sia da conglomerati ben cementati;

Di seguito è riportata una disamina delle varie tecnologie di messa in sicurezza/bonifica ritenute applicabili alla zona satura.

##### 7.2.2.1.1. Attenuazione naturale

L'Attenuazione naturale è il processo di verifica dei processi naturali quali la diluizione, la volatilizzazione, la biodegradazione, l'adsorbimento e le reazioni chimiche nel sottosuolo, che determinano la riduzione delle concentrazioni dei contaminanti a livelli accettabili secondo le normative. I contaminanti interessati da questo tipo di processo, che si svolge in seguito a reazioni chimico-fisiche e biologiche naturali, sono i VOC e gli SVOC. In qualche caso l'attenuazione naturale è stata applicata anche per casi di contaminazione da pesticidi.

L'attenuazione Naturale può essere applicata anche a condizioni di contaminazione relative al Cromo VI. Il Cr(VI) infatti in ambienti riducenti o in condizioni di pH alcalino o solo leggermente acido viene ridotto a Cr(III) il quale precipita come idrossido, scarsamente solubile e rimane quindi immobilizzato nel suolo. Questa riduzione per precipitazione in idrossidi può rientrare nei processi di monitoraggio previsti

dall'Attenuazione Naturale. In caso di contaminazione da Cromo VI è necessario monitorare anche la tendenza del Cr(III) a riossidersi a Cr(VI).

La presenza di ricettori sensibili nelle aree immediatamente circostanti il sito, unitamente agli apporti di contaminazione in ingresso da monte idrogeologico di acque già contaminate da alcuni composti indice del sito sconsigliano l'applicazione del monitoraggio dell'Attenuazione Naturale quantomeno in questa fase di progettazione della bonifica.

#### 7.2.2.1.2. Trattamenti biologici - Bioremediation

Le tecniche di Bioremediation sfruttano la capacità di organismi viventi quali batteri, funghi o piante per trasformare gli inquinanti presenti nelle matrici ambientali contaminate in forme meno pericolose e/o tossiche. I composti inquinanti sono trasformati dagli organismi viventi attraverso reazioni che avvengono come parte dei loro processi metabolici e spesso la biodegradazione di un composto è il risultato dell'azione di tipi diversi di microrganismi.

Tuttavia non è detto che i microorganismi necessari siano presenti nel sottosuolo, inoltre, sebbene presenti, non è detto che lo siano in numero sufficiente a garantire la decontaminazione del sito, né che si trovino in contatto con l'inquinante, né che abbiamo a disposizione sufficienti nutrienti (azoto, fosforo) e ossigeno per produrre gli enzimi necessari a degradare i contaminanti.

Per ovviare a tali limitazioni è possibile effettuare interventi di:

- **Biostimolazione:** aggiunta di nutrienti (N, P, K), accettori di elettroni (ossigeno) o donatori di elettroni (metano, lattato).
- **Bioaugmentation:** aggiunta di microrganismi esogeni, selezionati da popolazioni già presenti sul sito oppure ottenuti da varietà isolate in laboratorio da batteri noti per la capacità di degradare specifici composti.

Questi trattamenti biologici possono essere realizzati con iniezioni puntuali, con l'installazione di barriere reattive che creano l'ambiente idoneo alla biodegradazione, con barriere idrauliche a circolazione verticale che, sfruttando il ricircolo dell'acqua nel pozzo con stimolazione biologica additivata, favoriscono il raggiungimento in falda di condizioni idonee alla degradazione biologica dei contaminanti.

Nello specifico caso in esame l'eterogeneità della contaminazione rende oltremodo complessa l'applicazione dei metodi biologici: anche in contesti più semplici l'individuazione del fattore limitante al positivo avvenimento della biodegradazione è particolarmente sfidante, e comporta l'esecuzione di numerose analisi, test su microcosmo in laboratorio e test pilota in campo. Inoltre, l'applicazione di tali metodi presuppone un monitoraggio ed una valutazione dei parametri chimico-fisici del sottosuolo assolutamente precisa. Inoltre gli effetti della biodegradazione decrescono rapidamente con la distanza dal punto di iniezione o di trattamento, nel quale peraltro si possono verificare rapidi intasamenti.

## 7.2.2.1.3. Trattamenti chimici

Questa tipologia di trattamenti prevede l'iniezione nella zona satura di composti dalla proprietà ossidanti o riducenti che, reagendo con i contaminanti formano prodotti innocui o meno pericolosi per l'ambiente e la salute pubblica. Essenzialmente si distinguono due tipologie di trattamento per iniezione di composti nel sottosuolo saturo: l'ossidazione e la riduzione chimica. A tal proposito è opportuno ricordare che l'attività di iniezione di reagenti è controllata dall'autorità competente considerando la DIRETTIVA 2000/60/CE, t. 11 e il D.Lgs. 152/2006, art. 253 com.2.

La tipologia di trattamento più appropriata deve essere definita in base alle caratteristiche della contaminazione ed agli specifici obiettivi di trattamento oltre che verificata attraverso specifici test pilota.

La tecnologia di In Situ Chemical Oxidation (ISCO) prevede la creazione di una zona in cui avvengono reazioni chimiche di ossidazione dei contaminanti e risulta potenzialmente in grado di trattare un'ampia gamma di composti organici e solventi clorurati. La definizione del tipo di trattamento deve tener conto di molteplici fattori che possono influire sull'efficacia del trattamento (caratteristiche dell'ossidante, caratteristiche del terreno, reazioni competitive, geochimica dell'acquifero, ecc.) e di potenziali rischi di mobilizzazione di metalli pesanti.

La tecnologia di riduzione chimica (In Situ Chemical Reduction - ISCR) potrebbe risultare idoneo nel caso specifico per il trattamento di solventi clorurati e metalli pesanti, in particolare il Cromo VI. Il trattamento prevede l'iniezione di composti atti a degradare i contaminanti mediante reazione diretta oppure modificando il potenziale redox verso valori negativi; il reagente può essere iniettato tramite pozzi o può essere utilizzato per formare zone riducenti in barriere permeabili reattive.

Secondo la bibliografia è possibile ridurre la concentrazione del Cr(VI) del 75% scendendo al di sotto del valore limite per l'acqua destinata al consumo umano (50 microgrammi/L). La tecnica è chiamata anche fissazione geochimica, poiché il Cr(III) che si forma, dopo la precipitazione, rimane fissato nei solidi dell'acquifero.

I reagenti più utilizzati sono a base di ferro zerovalente (ZVI) o bivalente, ditionito di sodio, solfuri e polisolfuri. L'intervento di ISCR può essere facilmente combinato con un trattamento di tipo biologico.

L'applicazione di tali tecnologie di intervento richiede un'approfondita fase di sperimentazione, in laboratorio e successivamente in campo, per valutare la reale efficacia della tecnologia, ottimizzarne il funzionamento e infine quantificare i costi di trattamento. Tali trattamenti si prestano particolarmente ad interventi nelle aree sorgente con concentrazioni elevate di contaminanti, mentre intervenire sul plume può risultare estremamente costoso.

L'efficacia può essere limitata laddove non sia garantito un adeguato tempo di contatto tra l'agente ossidante/riducente ed i contaminanti, ad esempio in acquiferi ad elevata

permeabilità o in prossimità di emungimenti ingenti come nel caso in esame, e laddove non sussistano condizioni geochimiche favorevoli.

#### 7.2.2.1.4. Air Sparging e Soil Vapor Extraction (AS/SVE)

La tecnica si basa sull'immissione di aria atmosferica direttamente in falda mediante tubi di iniezione, favorendo il trasferimento dalla fase liquida verso la fase gassosa. I gas migrano verso la zona insatura dove sono captati da un sistema di pozzi in aspirazione (Soil Vapour Extraction). I gas estratti sono quindi trattati prima dello scarico in atmosfera con sistemi a carboni attivi, unità di ossidazione termica o catalitica e unità di condensazione.

Normalmente sono effettuati test pilota per determinare la pressione da applicare alla testa del pozzo per garantire la portata di gas desiderata ed il dimensionamento della massima distanza da un pozzo di estrazione alla quale è possibile percepire il vuoto applicato ed ottenere un flusso di vapore sufficiente ad estrarre contaminanti dal suolo.

Una volta verificato il raggio massimo d'influenza si procede al posizionamento dei punti di estrazione in modo da ottenere una sovrapposizione dei loro raggi d'influenza tale da coprire tutta l'area contaminata individuata durante la caratterizzazione.

Per quanto concerne il caso in esame, la tecnologia risulta difficilmente applicabile, in quanto non ha nessuna efficacia nei confronti di elementi inorganici, PCB e pesticidi. Inoltre la presenza di orizzonti strati a bassa permeabilità ritarderebbe i tempi di trattamento o addirittura potrebbe ridurre l'efficacia. Infine, l'insufflaggio di aria deve essere esercitato a profondità non superiori a 5-10 m al di sotto del livello piezometrico. Questa limitazione vale anche per numerose varianti della medesima tecnologia, come ad esempio il biosparging.

#### 7.2.2.1.5. Groundwater Circulation Wells Systems

I Groundwater Circulation Wells Systems consistono nel pompare acqua da una zona dell'acquifero, trattarla all'interno del pozzo o all'esterno e reimmetterla direttamente nell'acquifero o nella zona insatura.

Quest'ultima opzione può essere proficua in quanto consente il trattamento sia della zona satura sia della zona insatura sulla quale viene di fatto effettuato un *flushing*: l'acqua infiltrata nella zona trasferisce i contaminanti dalla fase solida alla fase liquida direttamente nel sottosuolo.

Nella configurazione standard l'acqua viene estratta da una sezione filtrata profonda del pozzo, per essere reimpressa dalla sezione filtrata più superficiale. In modalità inversa, la circolazione è al contrario.

Tuttavia, in presenza di stratificazione e/o forte eterogeneità del sottosuolo saturo l'immissione di acqua può generare l'allargamento del pennacchio inquinante. Dato che favorisce la miscelazione verticale dell'acquifero, potrebbe innescare la migrazione di NAPLs quali i solventi clorurati. Inoltre, in presenza di acquiferi in roccia, permeabili per

porosità secondaria come nel caso dell'acquifero conglomeratico è inoltre difficile prevedere il percorso dell'acqua iniettata.

#### 7.2.2.1.6. Barriere Fisiche

Si tratta di un sistema di messa in sicurezza permanente di tipo passivo, che consiste nella messa in opera di diaframmi verticali costituiti da materiali poco permeabili come bentonite, boiaccia, palancole, o miscele di sintetici compositi che limitano la mobilità dei contaminanti. Presentano il vantaggio che una volta installate l'unica attività da portare avanti è il monitoraggio. Sussiste tuttavia un'ovvia limitazione rappresentata dalla profondità massima d'installazione, anche se recentemente utilizzando un'idrofresa di nuova concezione, sono stati effettuati test sperimentali che hanno visto l'installazione di pannelli da 150 e 250 m di profondità con dimensioni 3,2x1,5 m.

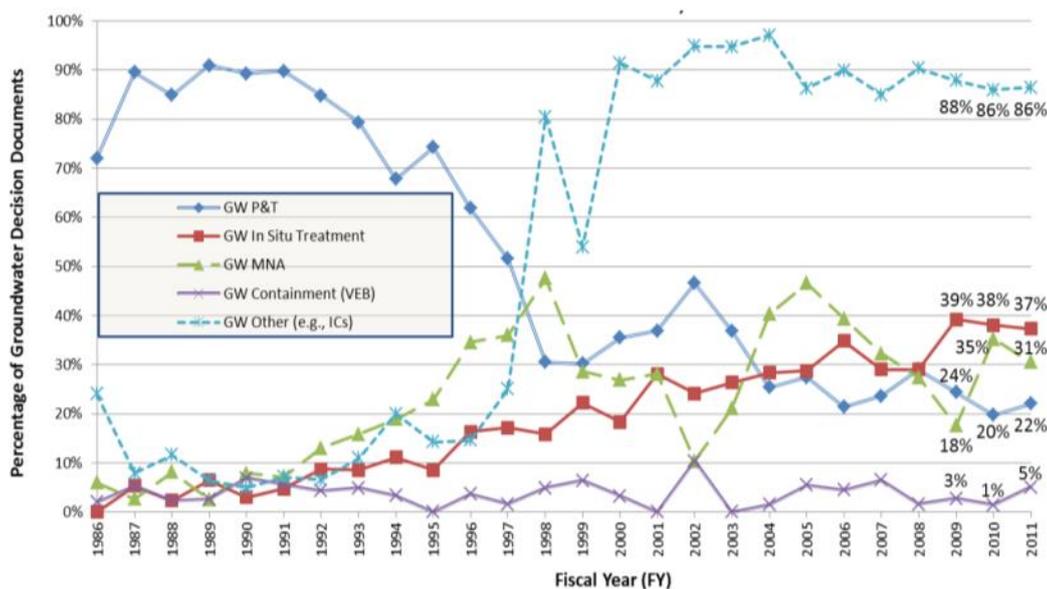
La deviazione dalla verticale misurata a fondo scavo (250 m) è stata di 30 cm sull'asse longitudinale (0,12%) e di 20 cm sull'asse trasversale (0,10%); la rotazione è stata sempre inferiore a 2° (*ultra deep concrete wall*). Tuttavia, tale sperimentazione è stata effettuata attraversando la seguente successione stratigrafica, differente da quella presente in sito: i primi 6 m sono rappresentati da terreni alluvionali, al di sotto dei quali, fino a 129 m si trova un ammasso costituito da rocce tenere (argilliti con vene di gesso e materiale caotico), mentre da 129 ai 250 m di profondità un ammasso costituito da rocce litoidi (marne e arenarie) con resistenze UCS da 10 a 60 Mpa.

Nel considerare l'applicabilità al caso specifico, ovvero un acquifero libero la cui base si individua a circa 80 m di profondità, giocano un ruolo sfavorevole sia l'elevata soggiacenza della falda (attualmente circa 30 m), che comporta necessariamente l'attraversamento di un notevole spessore di terreno insaturo ad elevata permeabilità, con possibile perdite dei fluidi di sostegno del foro e dei materiali immessi, sia la presenza, a partire da circa 40 m di profondità, di litologie conglomeratiche anche ben cementate e tenaci, verosimilmente difficili da attraversare.

#### 7.2.2.1.7. Pump&Treat

Questa tipologia di interventi consiste nel prelievo di acque sotterranee tramite pozzi in modo da indurre una depressione piezometrica continua nello spazio e nel tempo e quindi uno sbarramento idraulico. Le acque emunte sono quindi sottoposte a trattamento in appositi impianti, tipicamente attrezzati con tecnologie derivate dal trattamento delle acque di scarico. L'acqua, efficacemente trattata può quindi essere riversata in fognatura o in un bacino idrico superficiale. Per ottimizzare il processo di bonifica l'acqua può essere anche reimpressa a monte.

A livello internazionale e nazionale, si sta diffondendo la convinzione che, soprattutto in caso di contaminazione di falda massiccia, il Pump and Treat, oltre a essere dispendioso in termini energetici, può portare a installazioni di pompaggio, trattamento e reimmissione in falda molto prolungate nel tempo.



**Figura 50: Andamento dell'utilizzo delle tecnologie di bonifica delle acque sotterranee negli USA, da "Messa in sicurezza e bonifica di siti contaminati da solventi clorurati" Marco Petrangeli Papini, 2016**

I principali aspetti da tenere in considerazione nel realizzare un impianto efficace per la bonifica di tipo Pump and Treat, sono il numero e la localizzazione dei pozzi impiegati. Per realizzare un effetto di sbarramento idraulico efficiente va accuratamente dimensionata la portata d'acqua da emungere da ogni singolo pozzo (raggio di influenza del pozzo). Altro aspetto importante sia dal punto di vista tecnico sia economico del trattamento è il tempo previsto per il raggiungimento degli obiettivi della bonifica, in particolare in presenza di contaminanti poco solubili (con decrescita asintotica delle concentrazioni).

Questa metodologia in alcuni casi, compreso quello in esame, non permette di preservare la risorsa idrica sotterranea dal punto di vista quantitativo. Il pompaggio dell'acqua dalla falda, senza un successivo reinserimento della stessa a monte dell'area di trattamento, può portare all'impovertimento della falda e ad una alterazione del campo di moto delle acque sotterranee.

Per le caratteristiche idrogeologiche del sito e la variabilità delle caratteristiche chimico-fisiche della rosa di contaminanti presenti rappresenta tuttavia il metodo maggiormente applicabile per la messa in sicurezza permanente dell'area.

Come osservato anche presso lo stabilimento, possono prodursi anche interferenze con i prelievi di acque sotterranee limitrofi (ad es. Sito Oto Melara). Dal punto di vista idrogeologico il trattamento è sconsigliato per acquiferi con permeabilità relativamente bassa e/o elevata eterogeneità, poiché in questo caso la componente dispersiva e diffusiva del contaminante potrebbe prevalere su quella advettiva, così da ridurre l'efficacia di richiamo convergente verso i pozzi.

### **7.3.      Analisi comparativa delle soluzioni progettuali**

Nel presente capitolo viene svolto un confronto preliminare delle tecnologie sopra descritte in relazione ai seguenti aspetti:

- 1) *Efficacia nei confronti dei contaminanti presenti*
- 2) *Risolutività*
- 3) *Ripetibilità*
- 4) *Applicabilità al sito*
- 5) *Impatto sulle risorse naturali*
- 6) *Vincoli a seguire*
- 7) *Rischio impatto sulla falda off-site*
- 8) *Tempi e Costi*

Tecnologia	Efficacia	Risolutività	Applicabilità al caso specifico	Impatto sulle risorse naturali	Vincoli	Tempi	Costi
Soli Washing	Buona	Media	Buona	Basso	Medi	Brevi	Medi
Impermeabilizzazione/ capping	Buona	Media	Buona	Medio	Alti	Medi	Medi
Solidificazione/ stabilizzazione	Buona	Buona	Buona	Medio	Medi	Brevi	Medio Alti
Soil Replacement	Buona	Buona	Buona	Medio	Bassi	Brevi	Alti
Ossidazione chimica	Media	Media	Buona	Medio	Medi	Medi	Medi
Soil Flushing	Media	Media	Buona	Medio	Medi	Medi	Medi
Soil Vapor Extraction	Buona sui VOC	Buona sui VOC	Buona	Basso	Bassi	Brevi	Bassi
Adsorbimento e riduzione (Trap&Treat)	Media	Media	Buona	Medio	Medi	Medi	Medio Alti
Desorbimento Termico (in situ/ex situ)	Media	Buona	Buona	Alto	Alti	Brevi	Alti

**Tabella 26: Analisi comparativa delle soluzioni progettuali – Suolo e sottosuolo**

Tecnologia	Efficacia	Risolutività	Applicabilità al caso specifico	Impatto sulle risorse naturali	Vincoli	Rischio impatto falda	Tempi	Costi
Attenuazione Naturale	Bassa	Scarsa	Bassa allo stato attuale	Basso	Rilevanti per l'utilizzo della risorsa	Rilevante per propagazione dei contaminati	Molto Lunghi	Bassi
Trattamenti Biologici - Bioremediation	Bassa	Bassa	Bassa	Basso	Bassi	Medio	Medio lunghi	Medi
Trattamenti chimici	Buona	Media	Media	Medio	Medi	Medio	Medio Brevi	Medi
Air Sparging e Soil Venting	Scarsa (Buona su VOC)	Scarsa (Buona su VOC)	Media	Basso	Bassi	Medio	Medio Brevi	Medio bassi
Groundwater Circulation Wells	Media	Buona	Buona	Medio	Medi	Medio	Medio lunghi	Medi
Barriere Fisiche	Alta	Media	Media	Basso	Alti	Basso	Medio Brevi	Medio Alti
Pump & Treat	Alta	Scarsa	Buona	Alto	Medi	Basso	Lunghi	Alti

Tabella 27: Analisi comparativa delle soluzioni progettuali – Acque sotterranee

## 8. STRATEGIA DI INTERVENTO – SUOLO E SOTTOSUOLO

### 8.1. Strategia di intervento

Sulla base di quanto descritto alle precedenti sezioni, vengono di seguito esposte le soluzioni tecnologiche individuate per la bonifica e la messa in sicurezza permanente del suolo e del sottosuolo del sito Caffaro di Brescia, che permettano di raggiungere gli obiettivi di risanamento complessivi del sito.

Il risanamento dei terreni è di primaria importanza anche per la bonifica delle acque di falda in considerazione del fatto che i suoli saturi e insaturi costituiscono le sorgenti secondarie di contaminazione, ovvero le matrici da cui i contaminanti, adesi alle particelle di suolo, possono venire lisciviati e/o rilasciati direttamente per dissoluzione in falda.

La strategia individuata prevede quindi lo sviluppo di azioni di bonifica integrate, per lotti e fasi attuative sulle differenti matrici, alle differenti profondità, la cui successione è stata definita in base alle priorità di intervento, in relazione agli obiettivi di risanamento ed al piano di ri-sviluppo del sito.

Nello specifico si intende intervenire inizialmente su di un primo **“Lotto Funzionale”** al fine di agire prioritariamente sulle porzioni del sottosuolo del sito maggiormente impattate, che rappresentano le sorgenti secondarie dalle quali la contaminazione si propaga alle acque di falda. All'interno del Lotto Funzionale, si agirà primariamente nelle aree interessate dal Progetto **“Oltre la strada. via Milano 2021”**, (nel seguito **“Lotto Via Milano”**) che prevede, per circa 3.000 m<sup>2</sup> dell'area di stabilimento, la creazione di uno spazio pubblico di fruizione e di sosta, complementare al più esteso progetto di riqualificazione dell'asse stradale (Programma straordinario di intervento per la riqualificazione urbana e la sicurezza delle periferie”, tavole in All. 7).

Al termine degli interventi previsti nell'ambito del Lotto Funzionale, si procederà ad intervenire sulle restanti aree dello Stabilimento (nel seguito **“Lotto di completamento”**).

La suddivisione dei Lotti di intervento per le azioni di bonifica e messa in sicurezza del Sito Caffaro è riportata in Tav. 3. Per maggiori dettagli sulla sequenza di intervento e la successione delle diverse azioni nell'ambito dei lotti stessi si rimanda alla sezione 11 del presente documento.

In riferimento ai risultati dell'Analisi di rischio sito specifica condotta (Allegato 1) e agli obiettivi di bonifica (par. 6.2) la strategia progettuale prevede interventi sulle aree che hanno mostrato superamenti delle CSR/CSC attraverso l'adozione delle seguenti azioni:

1. interventi di bonifica per ridurre la massa contaminante fino al raggiungimento degli obiettivi di bonifica, tali da garantire la tutela ambientale e sanitaria, secondo quanto definito dall'analisi di rischio;
2. interventi di messa in sicurezza permanente, per l'interruzione dei percorsi di esposizione e di lisciviazione.

Nei capitoli che seguono si descrivono gli interventi previsti, sono riportate le stime volumetriche e areali riferite sulla base del solo confronto geometrico dei volumi, in riferimento agli obiettivi di bonifica.

Lo sviluppo degli interventi di bonifica del sito non potrà prescindere ovviamente dalla preliminare azione di smantellamento degli impianti, demolizione degli edifici esistenti e di parte delle strutture interrato, con il solo mantenimento di alcuni edifici storici e che non costituiscono parte di questo POB.



Figura 51: Ubicazione edifici da mantenere (in giallo)

La strategia di intervento sui terreni si indirizzerà in maniera specifica e differenziata alle seguenti porzioni del sottosuolo:

- terreni superficiali insaturi (fino a circa 5-6 m da p.c.);
- terreni profondi (oltre i 6 m da p.c.)

Per quanto riguarda i **terreni superficiali** la strategia individuata per il sito prevede due principali azioni complementari:

- *rimozione diretta*, in specifiche aree, dei terreni contaminati e successivo trattamento di *Soil-Washing* dei terreni escavati;
- realizzazione di un *Capping* nelle restanti aree, per impedire la lisciviazione dei terreni contaminati e l'interruzione dei percorsi di rischio e permettere contestualmente l'*incapsulamento* dei terreni rimossi ritenuti non trattabili.

Per quanto riguarda i **terreni profondi** la strategia proposta individua differenti azioni tese alla rimozione diretta della contaminazione mediante *Soil Replacement* o alla sua eliminazione e/o immobilizzazione mediante tecnologie in situ quali:

- Soil Stabilization

- Chemical Oxidation
- Soil Flushing

In sintesi, considerando le informazioni ad oggi disponibili e le valutazioni descritte nei capitoli precedenti, si prevede dunque di realizzare, per i terreni, gli interventi di seguito descritti.

## 8.2. Terreni superficiali (orizzonte 0-6 m da p.c.)

Tale orizzonte risulta caratterizzato dalla presenza di concentrazioni significative dei contaminanti di interesse su gran parte della superficie del sito, fino alla profondità massima di circa 6 m da p.c., la cui presenza pone potenziali rischi per la salute dei recettori umani e per l'ambiente.

Per tali motivi si ritiene necessario intervenire al fine di rimuovere la contaminazione e/o interrompere le vie di migrazione attraverso le seguenti azioni:

- **Escavazione dei terreni superficiali su una porzione del sito** per la quale si prevede che possa essere tralasciata la conformità alle CSC o alle CSR di riferimento (Tav. 4) in relazione alla destinazione d'uso prevista dal piano di sviluppo delle aree; a tal fine si stima una profondità di intervento compresa tra 1 m e 6 m circa dal p.c. Per i terreni escavati è previsto un trattamento di lavaggio on-site (impianto di Soil Washing) ed il riutilizzo in sito, per rinterri e rimodellamenti delle aree scavate, previa verifica della conformità al riutilizzo.
- **Messa in sicurezza permanente delle aree non soggette a scavo** (Tav. 4) mediante confinamento superficiale (capping), volto ad impedire la lisciviazione dei contaminanti presenti nei terreni, interrompere i percorsi di contatto dermico ed ingestione del suolo superficiale nonché interrompere il percorso di inalazione vapori; realizzazione inoltre di un incapsulamento dei terreni maggiormente contaminati (materiali fini in genere) e dei fanghi di lavaggio del Soil Washing; ricopertura finale con modellazione e piantumazione dell'area a capping.

## 8.3. Terreni insaturi profondi (orizzonte 20-30m)

I terreni profondi compresi nell'orizzonte tra i 20-30 m da p.c. sono quelli potenzialmente interessati dalle fluttuazioni della falda, attuale e futura, che possono essere pertanto influenzati dai fenomeni di lisciviazione e dissoluzione dei contaminanti in essi presenti.

Si procederà pertanto con interventi mirati alla rimozione, al trattamento e/o alla immobilizzazione dei contaminanti, in corrispondenza dei nuclei delle sorgenti secondarie, che pongono maggiori rischi per la qualità delle acque sotterranee. In tal senso, le aree di intervento sono state definite sulla base dei risultati delle indagini di caratterizzazione relative alla matrice terreni e delle campagne di monitoraggio delle acque di falda.

Sulla base dei risultati delle indagini di caratterizzazione effettuate sono state quindi individuate le seguenti principali aree di intervento (Tav. 5):

- C26c, C26e: area interessata da una presenza, negli orizzonti profondi, prevalentemente di PCB, PCDD-PCDF, Clorobenzeni e As, tale situazione risulta confermata dai risultati delle indagini integrative realizzate in corrispondenza del punto MW7 che ha evidenziato concentrazioni significative lungo tutta la verticale di indagine;

- C27: area interessata da una presenza negli orizzonti profondi prevalentemente di PCB, PCDD-PCDF, Clorobenzeni e As;
- C34: area interessata prevalentemente da una presenza di As negli orizzonti profondi, tale situazione risulta confermata dai risultati delle indagini integrative realizzate in corrispondenza del punto MW5 che ha evidenziato concentrazioni significative lungo tutta la verticale di indagine.

L'estensione di tali sorgenti, attualmente delineata mediante elaborazione dei poligoni di Thiessen, sarà definita con ulteriore dettaglio in fase esecutiva mediante la realizzazione di indagini di "Remedial Investigation" da eseguire a valle dello smantellamento degli impianti (par. 13.1) finalizzate al dettaglio esecutivo delle azioni di intervento, associato agli effettivi spessori di sottosuolo da sottoporre a trattamento.

Il trattamento degli orizzonti profondi sarà sviluppato mediante l'esecuzione di una serie di azioni integrate in base al livello di contaminazione riscontrato, alla profondità di intervento ed ai volumi complessivi di trattamento:

- Interventi localizzati di **Soil Replacement** mediante asportazione dei terreni insaturi profondi nelle porzioni di sottosuolo risultate maggiormente contaminate, con riferimento in particolare alle aree identificate dai poligoni C26e, C27 e C34; tali azioni saranno quindi finalizzate alla rimozione di una porzione significativa della massa di contaminanti presenti nei suoli.
- Interventi di **Inertizzazione/stabilizzazione** mediante jet-grouting di miscele stabilizzanti, per i terreni profondi non asportati dalla azione di Soil Replacement (indicativamente a profondità comprese tra 20-30 m da p.c.), caratterizzati da contaminazione generalmente elevata ma non estesa lungo tutta la verticale, difficilmente trattabili mediante tecnologie in situ.
- Interventi di bonifica in situ sui livelli profondi contaminati, riscontrati in corrispondenza della zona di frangia capillare e dell'orizzonte soggetto a fluttuazione della falda, mediante **Ossidazione Chimica e/o Soil Flushing**.

Per i terreni profondi ulteriori azioni e tecnologie di bonifica potranno essere estese nel caso in cui le indagini da realizzare a seguito dello smantellamento degli impianti (cfr. sez. 13.1) dovessero definire la presenza di ulteriori sorgenti secondarie ad oggi non identificate o non delimitate con sufficiente certezza per la fase esecutiva.

A tal proposito, considerata la distribuzione delle sorgenti primarie identificate attraverso il modello concettuale del sito e le evidenze di contaminazione riscontrate nelle acque sotterranee, sono stati previsti ulteriori interventi sugli orizzonti insaturi profondi in relazione alla possibile presenza di:

- cromo e mercurio, per i quali sono state riscontrate evidenze significative a carico delle acque di falda nella porzione centrale del sito, in corrispondenza del piezometro PZ10 (in prossimità degli impianti Clorato ed ex Cloro-Soda);
- solventi clorurati, con riferimento in particolare al tetracloruro di carbonio, riscontrato particolarmente in corrispondenza del piezometro MW6 e cloroformio, riscontrato prevalentemente in corrispondenza del piezometro PZ10 e a valle dello stesso in PZ5 (in prossimità dell'ex impianto Clortex).

Gli interventi sulle sorgenti profonde saranno soggetti a collaudo mediante la verifica della loro corretta esecuzione, come da specifiche di progetto esecutivo; per questi interventi l'eventuale prelievo ed analisi di campioni di terreno sarà finalizzato alla sola stima della massa residuale.

Nelle aree oggetto di intervento sui terreni profondi, a seguito della conclusione dei trattamenti previsti si procederà alla realizzazione delle opere di messa in sicurezza mediante impermeabilizzazione e incapsulamento come specificato al paragrafo 9.5. che garantiranno l'interruzione di tutti i percorsi di esposizione e della lisciviazione in falda.

## 9. DESCRIZIONE DETTAGLIATA DELLA SOLUZIONE – INTERVENTI SUI TERRENI SUPERFICIALI

### 9.1. Interventi di bonifica mediante escavazione dei terreni superficiali

Gli scavi andranno ad interessare le aree dello stabilimento per le quali è stata prevista anche la possibilità di trapiantare le CSC per siti ad uso verde-residenziale o commerciale-industriale, mediante asportazione dei terreni, a costi sostenibili e ottenere pertanto uno svincolo in relazione alla futura destinazione d'uso. Laddove non risultassero trapiantabili i valori di CSC, in fase di collaudo si farà riferimento alle CSR definite dall'Analisi di Rischio (Par. 6.2).

In considerazione di tali obiettivi sono state quindi definite le due aree di intervento riportate in Tav. 4). Tale soluzione è stata valutata, in accordo con il Comune di Brescia – Settore Trasformazione Urbana e Urban Center, come la più idonea a perseguire gli obiettivi di riqualificazione del sito e del contesto urbano in cui si colloca (All.10).

I volumi di scavo sono stati stimati sulla base dei risultati delle indagini di caratterizzazione, delle indagini ambientali integrative e dei rilievi recentemente effettuati. Le profondità di scavo risultano comprese da un minimo di 1 m da p.c. fino ad un massimo di 6,2 m dal p.c., queste potranno essere riviste sulla base delle evidenze riscontrate in campo. Il rilievo topografico recentemente effettuato costituisce il piano di riferimento a partire dal quale sono state definite le quote di fondo scavo da trapiantare.

Le modalità operative di seguito descritte non contemplano le interferenze con i sottoservizi presenti e/o le fondazioni, questa sarà definita nel dettaglio a seguito delle operazioni di dismissione degli impianti e demolizione degli edifici esistenti.

Tutte le strutture fuori terra eventualmente presenti, le platee, i plinti di fondazione e altre strutture in c.a presenti a livello del piano campagna, o subito al di sotto, saranno demolite prima di procedere con le attività di scavo.

Le demolizioni saranno realizzate con escavatori attrezzati con martello demolitore ed eventualmente con pinza frantumatrice. Nel corso di questa attività si procederà a separare i ferri d'armatura che saranno inviati presso impianti di recupero autorizzati.

Relativamente alle macerie derivanti dalla demolizione dei manufatti (pavimentazioni, fondazioni, strutture interrato) si prevede il trattamento on site, tramite impianto di frantumazione. Le macerie frantumate saranno destinate al recupero in sito, se conformi al riutilizzo (per la realizzazione di sottofondi, rimodellamenti, strati drenanti); in caso contrario potranno essere trattate nell'impianto di soil washing oppure gestite nell'ambito dei materiali che saranno incapsulati.

Gli interventi di scavo e trattamento dei terreni superficiali contaminati seguiranno le seguenti fasi operative:

- Fase 1 (predisposizione interventi) - attività di allestimento del cantiere (recinzioni, box uffici, spogliatoi, allacciamento utilities, allestimento aree tecniche di trattamento).
- Fase 2 (bonifica) – attività di scavo, movimentazione e trattamento dei terreni contaminati nonché reinterro progressivo delle aree scavate.
- Fase 3 (ripristino) – attività di rimozione impianti e mezzi d'opera, rimozione delle aree tecniche, ripristino morfologico.

Le attività di scavo si estenderanno indicativamente fino alla profondità definita per ciascun poligono (in Tav. 4 sono riportate le aree con indicazione delle profondità stimate); l'attività di scavo sarà limitata ad una profondità di 1 m nelle aree immediatamente limitrofe agli edifici di interesse storico/architettonico non oggetto di demolizione (3 metri di offset). In alternativa, qualora le condizioni di escavazione dello scavo non dovessero garantire la stabilità dell'edificio e/o la possibilità di raggiungere gli obiettivi di bonifica, saranno valutate soluzioni di interventi di consolidamento/sostentamento strutturali piuttosto che alternative quali la messa in sicurezza delle aree limitrofe agli edifici mediante impermeabilizzazione, da definire in fase di progettazione esecutiva.

#### 9.1.1. Attività propedeutiche

Preliminarmente all'esecuzione degli interventi saranno realizzate le seguenti attività propedeutiche alle operazioni di scavo:

- Raccolta dati e verifica planimetrie dei sottoservizi, impianti e strutture interrato;
- Localizzazione delle linee interrate (indagine georadar);
- Esecuzione indagini belliche;
- Identificazione dei piezometri e delle strutture da proteggere;
- Demolizione e rimozione sottoservizi, cunicoli, serbatoi e vasche interrate.

#### 9.1.2. Analisi preliminare in banco dei terreni

Prima di avviare le attività di scavo si procederà con l'esecuzione di trincee in tutta l'area di intervento al fine di procedere alla caratterizzazione in banco delle aree oggetto di intervento. A tal fine saranno pertanto prelevati campioni di terreno rappresentativi per lotti di circa 600 mc, che saranno formati, per quartatura, miscelando incrementi prelevati da 2 trincee differenti.

Alla fine delle attività verrà ripristinato al meglio lo stato delle superfici in posto rispettando, nella fase di ripristino, la sequenza con cui erano stati prelevati i terreni ai differenti orizzonti.

I vantaggi della caratterizzazione preliminare in banco sono:

- Efficace riduzione della movimentazione del terreno scavato e abbattimento del rischio di cross contamination nelle baie di stoccaggio temporaneo: sulla base delle analisi condotte sul terreno in banco sarà possibile infatti determinare la destinazione nell'immediato delle diverse frazioni di terreno scavato.
- Diminuzione degli impatti ambientali legati alla movimentazione delle terre (polveri, rumore, consumi di combustibile, ecc.);
- Diminuzione dei rischi, in termini di sicurezza, associati alla movimentazione delle terre (incidenti in fase di trasporto e carico/scarico delle terre, rumore, inalazione polveri, ecc.);
- Diminuzione dei tempi complessivi di bonifica: le indagini chimiche previste a Progetto dopo lo scavo saranno condotte invece già nel corso degli interventi preliminari (realizzazione trincee), accelerando il processo.

### 9.1.3. Procedura di campionamento in banco

Preliminarmente all'esecuzione delle attività di scavo verrà effettuata la caratterizzazione in banco dei materiali oggetto di scavo in un unico intervento.

All'interno di ogni poligono si prevede di realizzare trincee di scavo rappresentative di circa 300 m<sup>2</sup>.

L'esecuzione della trincea esplorativa procederà per approfondimenti successivi, per il prelievo di incrementi che saranno utilizzati per formare il campione medio dello strato di interesse. Le trincee saranno caratterizzate da una larghezza di 1 m, lunghezza variabile dai 3 ai 5 metri.

Ciascuna trincea verrà realizzata procedendo in maniera graduale in profondità per formare campioni rappresentativi dei differenti orizzonti litologici. Tale suddivisione degli orizzonti è finalizzata ad ottenere cumuli di materiale scavato omogeneo dal punto di vista della contaminazione.

Ciascun orizzonte sarà rappresentativo di uno spessore indicativamente pari ad 1 m e comunque non superiore a 2 m.

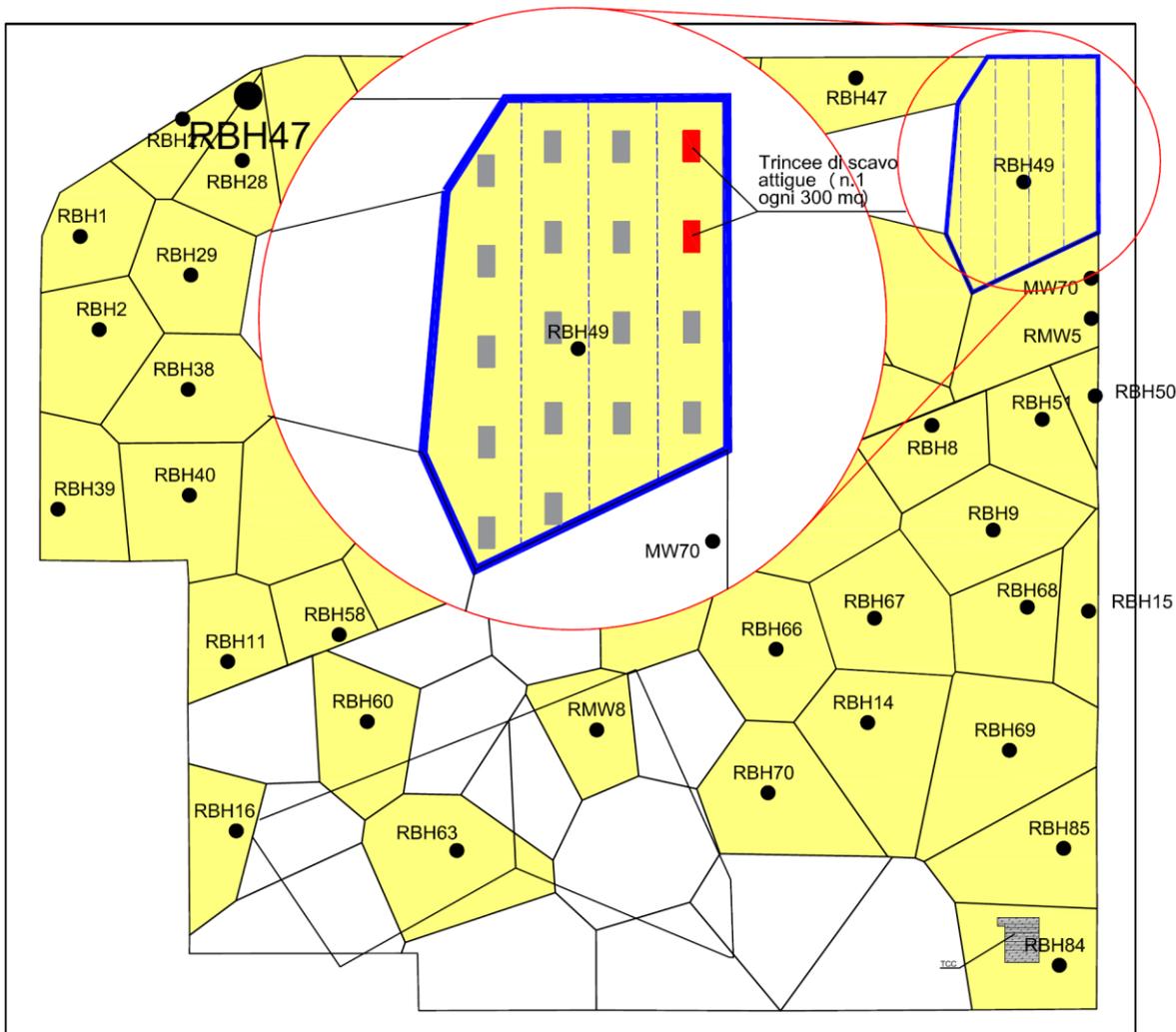
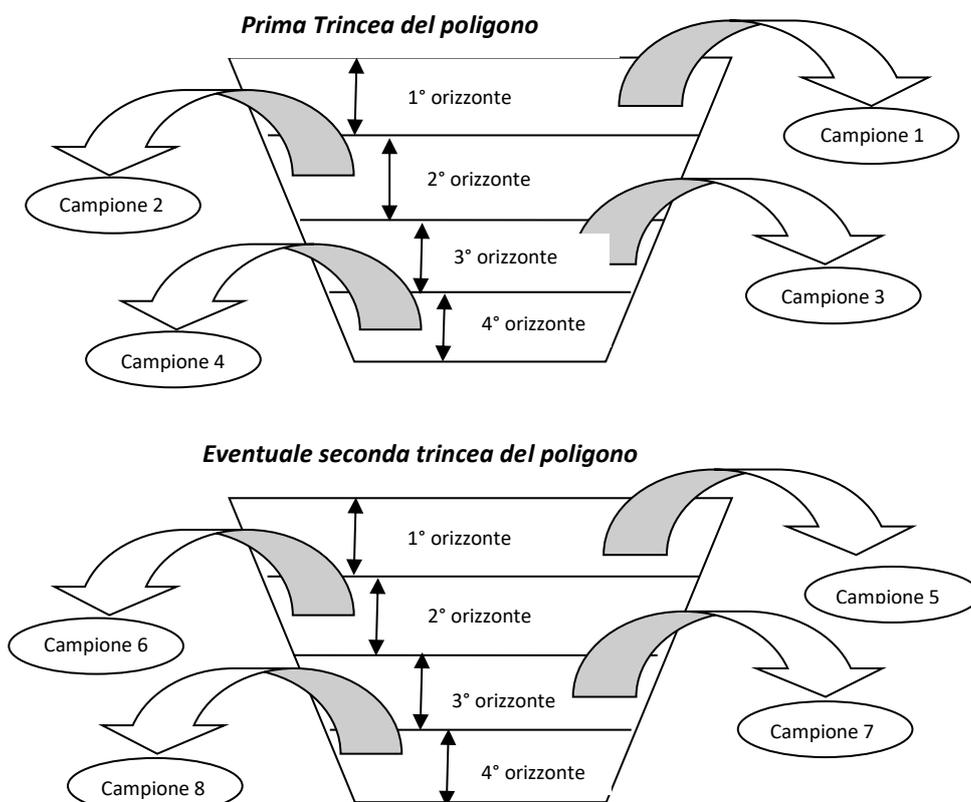


Figura 52: Schema tipo caratterizzazione in banco

All'interno di ogni trincea si preleverà un campione da ogni orizzonte, successivamente miscelato con l'altro campione preso nel medesimo orizzonte e per quartatura si otterrà un campione medio ritenuto rappresentativo; ad esempio, con riferimento alla figura seguente, verranno miscelati i campioni:

- 1 e 5 per avere il campione rappresentativo dell'orizzonte 1
- 2 e 6 per avere il campione rappresentativo dell'orizzonte 2
- 3 e 7 per avere il campione rappresentativo dell'orizzonte 3
- 4 e 8 per avere il campione rappresentativo dell'orizzonte 4



**Figura 53: Schema tipo campionamento in banco**

In base all'estensione dei poligoni interessati ed alle profondità di scavo stimate, l'attività di caratterizzazione in banco si svilupperà indicativamente secondo quanto di seguito riportato:

- Numero di trincee: circa 66 nell'area a vocazione commerciale-industriale e 70 in quella a destinazione verde-residenziale;
- Numero di campioni composti per quartatura: circa 55 per l'area a destinazione commerciale-industriale e 156 l'area a destinazione verde-residenziale per la caratterizzazione granulometrica.

## 9.1.4. Protocollo analitico relativo ai campioni prelevati in banco

Tutti i campioni così formati saranno sottoposti a vagliatura per definirne le percentuali delle seguenti tessiture:

- Ghiaie,
- Sabbie
- Limi e Argille

Tali percentuali saranno utilizzate per valutare se i terreni potranno essere inviati a trattamento mediante Soil Washing o essendo costituiti prevalentemente da tessiture fini dovranno essere inviate a incapsulamento.

Per ogni poligono di Thiessen verranno sottoposti ad accertamento analitico un solo campione per ciascun orizzonte campionato (complessivamente si stimano circa 118 campioni) per la determinazione dei contaminanti indice del sito di seguito riportati distinti per aree a differente funzione:

**Tabella 28: Set analitico per attività di caratterizzazione in banco**

Parametri	Area a destinazione verde-residenziale	Area a destinazione commerciale
Antimonio	x	
Arsenico	x	x
Cobalto	x	
Cromo VI	x	x
Mercurio	x	x
Piombo	x	x
Rame totale	x	x
Selenio	x	
Tallio	x	
Zinco	x	
Idrocarburi C > 12	x	x
PCB totali	x	x
PCB (speciazione congeneri)	x	x
Alfa HCH	x	x
beta HCH	x	
Lindano	x	
Aldrin	x	x
Dieldrin	x	x
Endrin	x	
Clordano	x	
DDD, DDT, DDE	x	x
Benzo(a)antracene	x	
Benzo(a)pirene	x	
Benzo(b)fluorantene	x	
Benzo(k)fluorantene	x	
Benzo(g,h,i)perilene	x	
Crisene	x	
Dibenzo(a,e)pirene	x	
Dibenzo(a,l)pirene	x	
Dibenzo(a,i)pirene	x	
Dibenzo(a,h)pirene	x	

Parametri	Area a destinazione verde-residenziale	Area a destinazione commerciale
Dibenzo(a,h)antracene	x	
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	x	
Pirene	x	
Clorometano	x	
Diclorometano	x	
Triclorometano	x	
Tetracloroetilene	x	
Dibromoclorometano	x	
Tetracloruro di carbonio (1)	x	
Clorobenzene	x	
1,2-diclorobenzene	x	
1,4-diclorobenzene	x	
1,2,4-triclorobenzene	x	
1,2,4,5-tetracloro benzene	x	
Pentaclorobenzene	x	
Esaclorobenzene	x	
Somma PCDD/F (conversione TEQ)	x	x

Note: (1) Per il Tetracloruro di Carbonio sarà utilizzato come valore di riferimento il limite ISS pari a 0,1 mg/kg nei terreni

Le analisi relative ai composti organici clorurati, saranno eseguite solo laddove i test speditivi con lampade PID evidenzino la presenza di composti organici volatili (VOC) nei campioni prelevati.

Sulla base delle informazioni ad oggi disponibili si stima che l'attività di caratterizzazione in banco possa essere realizzata, nei diversi lotti di intervento, secondo quanto riportato nelle tabelle seguenti

ID Poligono	Area [m <sup>2</sup> ]	Profondità scavo [m]	Punti d'indagine (n.trincee)	n. campioni (granulometrie)
C1 (PZ1)	1002.3	1	4	2
T6	522.9	1	2	1
P1	262.1	1.5	1	1
P2	624.2	1.5	3	2
C2	154.2	1	1	1
<b>Totale</b>	<b>2565.7</b>		<b>11</b>	<b>7</b>

**Tabella 29: Valutazione preliminare delle attività di caratterizzazione in banco (Lotto Via Milano)**

ID Poligono	Area [m2]	Profondità scavo [m]	Punti d'indagine (n.trincee)	n. campioni (granulometrie)
C8	307.00	2.8	2	2
T14	114.30	3	1	3
P17	419.91	1.5	2	1
C60	952.40	1	4	2
C13ter	260.00	1.5	1	1
C9	563.05	1	2	1
P12	587.50	1.5	2	1
P13	645.30	2.8	3	4
C10	976.36	2.8	4	4
P7	1805.40	2.8	7	8
C1(PZ1)	1068.60	1	4	2
T6	568.90	1	2	1
P1	361.20	1.5	2	1
P2	8.00	1.5	1	1
T8	768.30	1	3	2
C2	871.30	1	3	2
P8	923.20	2	4	4
C11	350.80	5.8	2	5
C6	1631.10	1	6	3
<b>Totale</b>	<b>13182.61</b>		<b>55</b>	<b>48</b>

Tabella 30: Valutazione preliminare delle attività di caratterizzazione in banco (Lotto Funzionale)

ID Poligono	Area [m <sup>2</sup> ]	Profondità scavo [m]	Punti d'indagine (n.trincee)	n. campioni (granulometrie)
T10	795.1	6	3	12
C3	957.6	5.3	4	10
C4(PZ2)	848.1	5.9	3	10
P3	1054.2	2	4	4
P4	1560.6	6	6	18
T12	1109.6	6	4	12
C46	1079.4	2.5	4	4
C5	758.0	5.5	3	10
C7	1099.0	1.5	4	2
P6	1052.4	1.5	4	2
T9	864.8	6	3	12
C48	903.0	5.8	4	10
P5	434.7	1.5	2	1
P14	250.6	2.8	1	2
C12	489.3	6.2	2	6
P9	860.2	2.8	3	4
T11	671.7	6	3	12
P10	957.1	2	4	4
T13	50.2	6	1	6
C20	32.6	1.5	1	1
P11	661.4	6	3	12
C47	1192.6	1	4	2
<b>Totale</b>	<b>17682.2</b>		<b>70</b>	<b>156</b>

**Tabella 31: Valutazione preliminare delle attività di caratterizzazione in banco (Lotto di Completamento)**

I terreni così caratterizzati saranno successivamente scavati per aree omogenee e inviati alle aree di accumulo per le differenti destinazioni di trattamento (rif. Par. 9.1.8).

#### 9.1.5. Attività di scavo

Le aree di intervento previste per lo scavo dei terreni superficiali sono riportate in Tavola 4. Nella medesima tavola sono riportate anche le profondità di scavo previste.

Le attività di scavo saranno condotte per lotti omogenei, secondo il piano temporale e la suddivisione che verranno definiti in fase di progettazione esecutiva.

In linea generale lo scavo procederà lungo strisce parallele orientate indicativamente secondo una direttrice nord-est – sud-ovest. La sequenza effettiva di scavo sarà comunque confermata a seguito della caratterizzazione in banco in modo da pianificare adeguatamente la gestione dei flussi.

Lo scavo procederà per approfondimenti successivi fino a raggiungere le profondità definite in sede di progetto e verificate nelle fasi caratterizzazione in banco ed in corso d'opera.

Le operazioni di scavo avverranno esclusivamente con l'utilizzo di mezzi meccanici e senza l'uso di sostanze in grado di contaminare il materiale scavato. Le attività saranno inoltre condotte con metodiche selettive, atte ad ottenere la migliore separazione possibile delle varie tipologie di terreni individuati nella fase di caratterizzazione in banco effettuata e delle evidenze di campo.

Laddove fosse necessaria una stabilizzazione dei fronti di scavo per la presenza di pendenze eccessive si procederà alla riprofilatura del fronte mediante la creazione di idonee scarpate su strisce adiacenti o in aree non interessate dagli scavi.

In corrispondenza del confine perimetrale dello stabilimento e degli edifici potrà essere valutata la necessità di eseguire opere provvisorie di sostegno. In fase di progettazione esecutiva si procederà a valutare la tipologia delle opere eventualmente necessarie al sostegno degli scavi.

Per evitare il danneggiamento dei pozzi/piezometri situati all'interno dell'area di intervento, si procederà, ove possibile, alla loro protezione secondo le seguenti modalità:

- scavo a mano di uno spazio anulare intorno ai pozzi/piezometri, sino ad una profondità di circa 0,5 m da piano campagna;
- posa di uno spezzone di tubo metallico o di anelli di calcestruzzo prefabbricato di diametro adeguato a protezione della testa pozzo/piezometro;
- il tubo di protezione della testa pozzo/piezometro verrà rimosso al completamento dei lavori di realizzazione del capping o, se opportuno, entrerà a fare parte della sistemazione finale dell'opera.

Le attività di scavo dovranno essere eseguite secondo i seguenti criteri generali:

- lo scavo dovrà essere effettuato mediante l'utilizzo di escavatori con idonea capacità e potenza in grado di raggiungere le profondità di progetto;
- l'escavatore caricherà direttamente il cassone dell'autocarro navetta con la sola rotazione laterale;
- l'autocarro, con cassone chiuso e coperto, provvederà poi alla movimentazione delle terre nelle aree di stoccaggio;
- in fase di asportazione e movimentazione dei terreni contaminati, allo scopo di ridurre la formazione delle polveri, si provvederà, se necessario, ad una leggera bagnatura del fronte di scavo;
- per la gestione dei terreni asportati nel corso delle lavorazioni, si faccia riferimento a quanto descritto nei paragrafi successivi.

Come piste di cantiere saranno utilizzate inizialmente le strade di stabilimento esistenti; successivamente, quando sarà necessario procedere alla loro demolizione, saranno realizzate apposite piste, finalizzate a raggiungere le aree di interesse, di circa 3 metri di larghezza e spessore 15-20 cm, mediante posa di materiale stabilizzato certificato o di recupero e previa compattazione del fondo.

#### 9.1.6. Gestione dei terreni scavati

I volumi di terreno da gestire nell'ambito del presente POB, in aree libere da edifici storici/di interesse sono stimati in banco. Allo stato attuale i volumi sono stati stimati secondo geometrie teoriche di scavo a pareti verticali, basate su un'interpretazione dell'estensione della contaminazione a partire dalle informazioni ad oggi disponibili. I volumi saranno progressivamente affinati a seguito della definizione dei profili di scavo d'opera e sulla base di quanto riscontrato mediante la caratterizzazione in banco.

Si stima che circa un 30% del volume totale sia costituito da frazioni fini (limo e argille) non idonee al trattamento tramite Soil Washing e quindi destinate a incapsulamento diretto. Il restante 70% sarà avviato a trattamento dove verrà sottoposto a vagliatura e lavaggio. In base alle informazioni disponibili è possibile ipotizzare che circa il 30% del materiale sottoposto a lavaggio dovrà essere inviato ad incapsulamento. Tali percentuali potranno variare in funzione dei risultati ottenuti dal test pilota di Soil Washing e dalle risultanze della caratterizzazione in banco.

All'interno del Capitolo 11 si sono riportate le tabelle con la stima dei volumi di terreni da scavare e da gestire mediante Soil Washing. I flussi di terreni ipotizzati in uscita dal trattamento di Soil Washing, stimati in funzione delle informazioni ad oggi raccolte sullo stato qualitativo dei materiali. Tali volumi dovranno essere verificati tramite il test pilota preliminare e le opportune analisi di caratterizzazione.

La tabella che segue schematizza la destinazione finale di tali terreni, in funzione delle informazioni ad oggi raccolte sullo stato qualitativo dei materiali:

**Tabella 32: Volumi Scavo e gestione Soil Washing**

Tipologia di terreno	Quantitativo stimato (%)	Destinazione
Terreno idoneo al riutilizzo	circa il 49% del volume totale	Rimodellazioni superficiali, riempimenti e rinterri all'interno del sito
Terreno da destinare all'incapsulamento	circa il 51% del volume totale	Incapsulamento all'interno del sito

I terreni idonei al riutilizzo e quelli destinati all'incapsulamento in sito verranno trasferiti dalle aree di primo accumulo alle aree dedicate mediante camion a bilico, utilizzando la viabilità interna di cantiere.

#### 9.1.7. Flussi di terreno

I flussi dei terreni movimentati in sito sono riportati in Allegato 17. Il materiale trattabile con Soil Washing sarà accumulato in un'area di accumulo denominata area A1.

Si prevede che il trattamento di Soil Washing potrà produrre tre flussi di terreno ovvero ghiaia, sabbia e fanghi, che saranno depositati in opportune aree di accumulo:

- per le sabbie (area A3-S) saranno ricercati i parametri indice di contaminazione e sottoposte a test di cessione. Le risultanze analitiche dovranno essere conformi con i limiti imposti dal D.Lgs. 152/06 e s.m.i. per la specifica destinazione d'uso prevista dal risviluppo dell'area (Tav. 4) e ai limiti di cui alla tabella 2, allegato 5 alla parte IV del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.. Qualora risultassero conformi al riutilizzo in situ saranno inviate nell'area di accumulo A6, in caso contrario, saranno destinate all'incapsulamento (area di accumulo A5);
- le ghiaie (area A2-G) saranno sottoposte a test di cessione in quanto materiale grossolano sopra vaglio. Le risultanze analitiche sull'eluato dovranno essere conformi ai limiti di cui alla tabella 2, allegato 5 alla parte IV del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.. Qualora risultassero conformi al riutilizzo in situ saranno inviate nell'area di accumulo A6, in caso contrario, saranno destinate all'incapsulamento (area di accumulo A5);
- i fanghi (area A4-F) saranno invece inviati ad incapsulamento (area di accumulo A5).

Il materiale proveniente dal lavaggio Soil-Washing che non rispondesse alle aspettative di efficienza del trattamento, come definite dal test pilota, verranno nuovamente inviate all'area di stoccaggio A1 per essere sottoposte ad un nuovo ciclo di lavaggio.

Per la descrizione delle aree di accumulo si rimanda al paragrafo successivo mentre per la descrizione del trattamento dei terreni mediante Soil Washing si rimanda al paragrafo 9.3.

#### 9.1.8. Aree di accumulo

Le piazzole per il posizionamento dei cumuli di terreno scavato e dei vari flussi di terreno, saranno ubicate indicativamente come rappresentato in Tav. 6. I tipologici per la realizzazione delle aree di stoccaggio sono riportati in Tav. 7

Sono previste le seguenti aree di accumulo:

- Area 1 (A1): di accumulo terreno trattabile tramite Soil Washing;
- Area 2 (A2-G): di accumulo/caratterizzazione materiale derivante da Soil Washing per la pezzatura ghiaie;
- Area 3 (A3-S): di accumulo/caratterizzazione materiale derivante da Soil Washing per la pezzatura sabbie;
- Area 4 (A4-F): di accumulo/caratterizzazione materiale derivante da Soil Washing per la pezzatura fanghi;
- Area 5 (A5): di accumulo terreno da inviare all'incapsulamento;
- Area 6 (A6) di accumulo terreno che risulterà conforme al riutilizzo in sito ma dovrà essere scavato per permettere la realizzazione dell'incapsulamento.

L'effettivo dimensionamento delle aree dovrà essere definito a seguito delle operazioni di caratterizzazione in banco che permetteranno di definire le volumetrie che dovranno essere gestite per i vari lotti di intervento.

A livello di fattibilità si può prevedere che all'interno delle aree, che saranno delimitate con elementi prefabbricati tipo New Jersey, potranno essere realizzate baie di accumulo di diversa volumetria. Per l'area A1 si stima che possano essere previste n. 4 baie con dimensioni 12 x 15 m, al fine di contenere un volume indicativo di terreno pari a circa 500 m<sup>3</sup> (Tav. 7a).

Analogamente, per ciascuna delle aree destinate all'accumulo/caratterizzazione dei flussi del materiale derivante dal Soil Washing (aree A2-G, A3-S e A4-G) potrà essere realizzata una baia di dimensioni 12 x 15 m al fine di contenere un volume indicativo di terreno pari a circa 500 m<sup>3</sup> (Tav. 7b).

Nelle aree di stoccaggio A5 e A6, destinate rispettivamente ai terreni oggetto di incapsulamento e riutilizzo in sito, i cumuli potranno avere volumetrie maggiori anche superiori a 3.000 m<sup>3</sup>. A livello indicativo potrà essere prevista per ciascuna area di stoccaggio una baia con dimensioni 30 x 20 m (Tav. 7c).

Il settore fondale di ogni area sarà opportunamente impermeabilizzato.

La realizzazione del sistema di impermeabilizzazione delle aree di accumulo comprenderà le seguenti operazioni:

- livellamento e regolarizzazione superficiale;
- realizzazione del cordolo perimetrale di contenimento in calcestruzzo armato;
- posa in opera di pozzetti per la raccolta delle acque;
- impermeabilizzazione del fondo con la stesa di un telo HDPE dello spessore di 1 mm;
- posa in opera di uno strato di fondazione in misto granulare non legato avente spessore complessivo di ca. 10 cm, che dovrà essere opportunamente costipato;
- rivestimento di tutta la superficie con una mano di ancoraggio per consentire la successiva posa in opera del conglomerato bituminoso;
- posa in opera di conglomerato bituminoso di tipo chiuso con spessore finito di 6 cm, avente funzione di Binder;
- posa in opera dello strato di usura con spessore finito di 3 cm che dovrà essere realizzato con conglomerato bituminoso di tipo chiuso, previo il rivestimento di tutta la superficie con mano d'attacco;
- posa di new jersey per la separazione delle diverse aree di stoccaggio dei rifiuti;
- posizionamento di una pompa autoadescante all'interno di ciascun pozzetto o in un unico pozzetto in caso collettamento degli stessi, che invierà l'acqua ad un sistema di raccolta prima del successivo invio a trattamenti specifici;
- installazione di una copertura mobile dei terreni sulle aree di accumulo, al fine di preservare il terreno dagli agenti atmosferici (vento, pioggia, ecc.) e quindi dalle acque di infiltrazione.

Il settore fondale di ogni piazzola avrà pendenza tale da consentire il deflusso delle acque piovane verso i sistemi laterali di drenaggio e quindi verso i pozzetti di raccolta delle acque.

Le aree di accumulo saranno adeguatamente segnalate e dotate di opportuna cartellonistica. Inoltre saranno dotate di piste di accesso e spazi di manovra tali da consentire non solo il transito dei mezzi, ma anche le manovre di carico e scarico materiali. Durante tali operazioni, i mezzi d'opera non dovranno transitare sui cumuli di materiali stoccati, per evitare di sporcare le ruote e quindi la pista centrale.

## **9.2. Pre-Trattamento dei terreni escavati**

Dopo la fase di escavazione, in accordo alla normale pratica industriale, si prevede di eseguire on-site una vagliatura preliminare meccanica a secco, al fine di rimuovere il materiale di dimensioni molto elevate (ad es. diametro > 100 mm) e l'eventuale materiale non conforme (ferroso o altro antropico) presente nei terreni scavati.

Il pretrattamento del materiale contaminato, necessario per i successivi trattamenti di Soil Washing comprenderà in genere le seguenti operazioni:

1. Rimozione dei detriti e materiale ferroso
2. Riduzione pezzatura dei detriti mediante disgregazione
3. Omogeneizzazione del materiale in ingresso al trattamento di Soil Washing.

Il materiale sopra-vaglio sarà sottoposto a test di cessione per verifica della conformità al riutilizzo in sito.

## 9.3. Soil Washing

L'impianto di trattamento di Soil Washing sarà collocato nella porzione di Stabilimento posta a Sud di Via Morosini. In prossimità dell'impianto di Soil Washing, nell'area immediatamente a nord di Via Morosini, saranno invece poste le aree di accumulo. Il trasporto dei terreni contaminati avverrà tramite autocarri navetta. A tal fine verrà creato un apposito varco nella recinzione di stabilimento per mettere in comunicazione le due aree. Via Morosini dovrà essere temporaneamente chiusa e il traffico locale sarà opportunamente gestito con una viabilità alternativa (Tav. 6).

Il sistema di trattamento sarà indicativamente composto da tre sezioni:

- stazione di lavaggio e separazione in frazioni fini, medie e grossolane;
- stazione di trattamento delle acque di lavaggio;
- stazione di trattamento delle frazioni fini e di filtropressatura meccanica.

Tale sistema permetterà attraverso meccanismi fisici e/o chimici di separare le matrici che compongono il suolo, concentrando gli inquinanti nella parte più fine (limi e argille).

I trattamenti saranno costituiti dalle seguenti fasi operative:

1. **Separazione fisica delle differenti frazioni granulometriche:** esecuzione di processi meccanici sia a secco che con uso di acque per la separazione fisica delle diverse granulometrie; i processi a secco (vibrovaglio) consentono la separazione di frazioni granulometriche ghiaiose, mentre i processi con uso di acqua (idrociclone) consentono la separazione delle frazioni sabbiose. Le frazioni estremamente fini potranno essere separate mediante processi di decantazione (flottatori). La separazione fisica, oltre alla separazione in termini di classi granulometriche dei terreni consente la suddivisione del terreno anche in frazioni a differenti livelli di contaminazione. Tale processo potrebbe già abbattere parte delle contaminazione iniziale.
2. **Lavaggio con acqua:** le diverse frazioni granulometriche dovranno essere sottoposte a lavaggio mediante acqua pulita eventualmente additivata.
3. **Caratterizzazione per gruppi omogenei:** le frazioni granulometriche sottoposte a processo di lavaggio saranno sottoposte ad analisi chimiche per la verifica della possibilità di riutilizzo in sito.

Le diverse classi granulometriche che risulteranno conformi al riutilizzo dopo i singoli processi di trattamento saranno depositati nell'area di accumulo A6, in attesa del riutilizzo in sito. I materiali non conformi al riutilizzo ma conformi all'incapsulamento saranno inviati all'area di accumulo A5 o direttamente all'area di incapsulamento.

In considerazione dei volumi di trattamento e delle tempistiche previste per le attività in sito, si considera ad oggi come migliore soluzione in termini di costi benefici, l'installazione di un impianto della capacità di circa **20 t/h** e di potenza installata complessiva pari a circa **150 kW**.

Il materiale da trattare raggiungerà la tramoggia di carico mediante trasportatore a nastro, a seguito della quale sarà sottoposto ad una prima fase di vagliatura per la separazione dei materiali di grosse dimensioni (ciottoli, trovanti, etc.) e di recupero dei materiali ferrosi mediante deferrizzatore magnetico. I terreni contaminanti saranno quindi avviati all'impianto di lavaggio costituito dalle seguenti sezioni di trattamento, tra loro interconnesse da sistemi di alimentazione/scarico:

- **Vaglio rotante di prelavaggio**, nel quale i terreni contaminati subiranno un preliminare energico lavaggio con acqua per consentire la separazione e il recupero dei materiali grossolani (> 60 mm);
- **Disaggregatore a palette/Sfangatrice a botte**: nel quale avverrà la completa disaggregazione delle zolle di terreno, il lavaggio della frazione grossolana (> 4 mm) con distacco degli inquinanti e del limo;
- **Vibroavaglio classificatore**: per il lavaggio, l'asciugatura e la separazione delle ghiaie dal materiale in uscita dal disaggregatore/sfangatrice a botte;
- **Celle di attrizione**: nel quale le sabbie vengono lavate e trattate meccanicamente per la rimozione degli inquinanti il lavaggio del fluido di estrazione in uscita dal vaglio a umido e dal vibroasciugatore classificatore; la frazione fine generata viene rimossa e raccolta come residuo contaminato, mentre la frazione più grossolana è raccolta come prodotto pulito o da sottoporre ad ulteriori trattamenti;
- **Idrociclonatura**: costituita da un sistema di separatori di tipo centrifugo (senza parti mobili) per la separazione delle sabbie (0,06 – 4 mm) dai limi e dalle argille del fluido di estrazione;
- **Vibroasciugatore**: per l'asciugatura delle sabbie decontaminate.

A completamento dell'impianto, si prevede l'installazione di una **sezione di trattamento e ricircolo dell'acqua di lavaggio** e di una sezione di disidratazione meccanica dei fanghi prodotti (frazione fine), così articolate:

- Sedimentatore: nel quale avviene la separazione tra i fanghi, depositati sul fondo, e le acque surnatanti chiare. A monte del sedimentatore verranno eseguiti gli opportuni trattamenti con dosaggio di "chemicals" per la depurazione delle acque;
- Disoleatore: per la separazione dei contaminanti organici in sospensione dalle acque surnatanti in uscita dal sedimentatore;
- Impianto di trattamento chimico-fisico: per la depurazione delle acque in uscita dal disoleatore;
- Sezione di filtrazione a quarzite e a carbone attivo: per le acque in uscita dall'impianto chimico-fisico;
- Serbatoio di accumulo: nel quale sarà stoccata l'acqua a seguito del trattamento, per essere riutilizzata all'interno dell'impianto di soil washing;
- Vasca di omogeneizzazione: nella quale saranno omogeneizzati i fanghi in uscita dal sedimentatore;
- Filtropressa a piastre: nella quale avverrà un'ulteriore separazione dei solidi dai liquidi, concentrando gli inquinanti nel pannello e riducendone l'umidità relativa al valore più basso raggiungibile.

L'impianto sarà dotato di un pannello di controllo centralizzato che consente la gestione dei vari cicli di trattamento e la regolazione della durata dei medesimi in relazione alla tipologia di materiale alimentato.

Si stima una portata di acqua circolante pari a **60-75 m<sup>3</sup>/h**, di cui il 15-18% dovrà comunque essere spurgato/scaricato e reintegrato. Al fine di minimizzare i consumi di acqua di rete, si valuterà la possibilità

di utilizzare acqua depurata proveniente dai sistemi di trattamento delle acque di falda in sito presenti in sito.

L'area di impianto, comprendente le stazioni sopra indicate, occuperà una superficie indicativa di circa 2.500 m<sup>2</sup>.

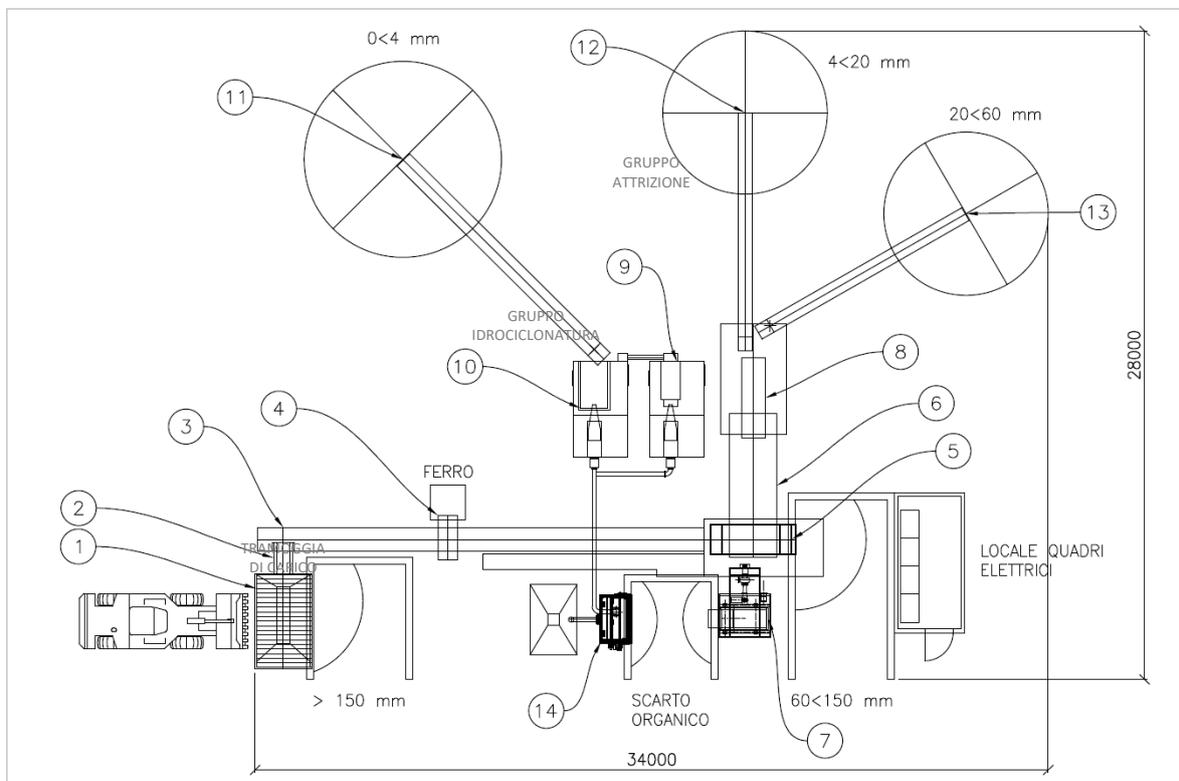
La piastra o platea di sostegno dell'impianto di Soil Washing sarà protetta al fondo da un pacchetto impermeabilizzante, con la completa regimazione delle acque di piazzale e di tetto (a copertura dell'impianto stesso).

I terreni a seguito di ogni ciclo di trattamento, saranno stoccati nelle apposite aree di accumulo (A2-G, A3-S e A4-F) in cui saranno caratterizzati per verificare la bontà del trattamento subito e quindi della loro conformità al riutilizzo in sito oppure all'incapsulamento. Le baie saranno realizzate secondo le modalità indicate al paragrafo 9.1.8.

A completamento dell'area di impianto saranno previsti anche i servizi, gli uffici e le aree di manovra dei mezzi.

Le piste di accesso e gli spazi di manovra saranno tali da consentire non solo il transito dei mezzi, ma anche le manovre di carico e scarico materiali.

La figura seguente mostra un layout indicativo dell'impianto di lavaggio terreni. Si precisa che la configurazione e il dimensionamento finale degli impianti di trattamento potranno essere definiti solo a valle di un test pilota, il quale permetterà di definire le modalità di applicazione della tecnologia di Soil Washing.



**Figura 54: Layout indicativo impianto di lavaggio terreni**

### 9.3.1. Flussi ipotizzati

La tabella che segue schematizza i flussi di terreni ipotizzati in uscita dal trattamento di Soil Washing, stimati in funzione delle informazioni ad oggi raccolte sullo stato qualitativo dei materiali. Tali volumi dovranno essere verificati tramite il test pilota preliminare e le opportune analisi di caratterizzazione.

**Tabella 33: Percentuale flussi ipotizzati Soil Wasing**

Tipologia di terreno	Quantitativo stimato (%)	Destinazione
Terreno idoneo al riutilizzo (frazione di terreno pulita dopo Soil Washing)	circa il 70% dei terreni trattati	Rimodellazioni superficiali, riempimenti e rinterri all'interno del sito
Terreno da destinare all'incapsulamento	circa il 30% dei terreni trattati	Incapsulamento all'interno del sito

### 9.4. **Ritombamenti**

Una volta verificata l'idoneità del materiale al recupero, si potrà procedere al ritombamento delle aree. Il materiale sarà steso per strati successivi di spessore non superiore a 50 cm, mediante apparecchiature idonee a garantire un efficace costipamento e a garantire la circolazione in sicurezza dei mezzi d'opera.

Le quote di ritombamento finale saranno definite in sede di progettazione esecutiva al fine di minimizzare l'apporto di materiale esterno anche attraverso la valutazione del rimodellamento della superficie a quote inferiori all'attuale piano campagna.

### 9.5. **Interventi di Messa in Sicurezza Permanente del Sito**

#### 9.5.1. Introduzione

La strategia individuata per le aree non soggette a scavo, prevede la messa in sicurezza permanente (MISP) mediante confinamento superficiale (capping) e l'incapsulamento in sito dei terreni contaminati, dei fanghi di lavaggio e dei materiali da demolizione non idonei al recupero con conseguente ricopertura finale e piantumazione dell'area a capping.

I paragrafi che seguono presentano le caratteristiche costruttive dei sistemi di MISP utilizzati con particolare riferimento ai pacchetti di impermeabilizzazione di fondo (pacchetto di impermeabilizzazione del suolo contaminato) e di impermeabilizzazione superficiale (pacchetto di impermeabilizzazione e copertura finale dei cumuli) in relazione alla tipologia dei materiali trattati. Sono inoltre descritti i presidi di monitoraggio ed i piani di gestione e di controllo in fase operativa e post operam previsti per i sistemi in oggetto.

In particolare vengono analizzate nel dettaglio le seguenti tematiche connesse con l'intervento di messa in sicurezza permanente:

- ✓ **Modalità di impermeabilizzazione e ipotesi di sistemazione plano-altimetrica dell'area**
  - Caratteristiche dei pacchetti di impermeabilizzazione ai sensi della normativa vigente;
  - Layout plano-altimetrico dei rilevati costituiti da terreni oggetto di MISP;
- ✓ **Sistemi di regimazione delle acque meteoriche, delle condense e dei gas**

- Layout della rete di drenaggio, laminazione e restituzione delle acque meteoriche;
  - Layout della rete di raccolta delle acque di condensa;
  - Layout della rete di intercettazione dei gas interstiziali sotto capping;
- ✓ **Aspetti geotecnici connessi con gli interventi di MISP**
- Inquadramento stratigrafico, geotecnico e sismico del sito;
  - Analisi dei cedimenti indotti dai rilevati costituiti da terreni oggetto di MISP;
  - Analisi di stabilità delle scarpate dei rilevati costituiti da terreni oggetto di MISP.

Le caratteristiche dimensionali dei sistemi di incapsulamento sono state definite sulla base delle modalità di gestione dei flussi previste in questa sede e dei dati di caratterizzazione delle materie ad oggi disponibili; i dati dimensionali potranno essere ottimizzati e aggiornati in fase operativa nel rispetto delle caratteristiche costruttive e dei vincoli prestazionali descritti.

In particolare la geometria dei rilevati ed il layout plano altimetrico potranno essere oggetto di modifiche in funzione della progettazione esecutiva degli interventi di bonifica e/o del futuro progetto urbanistico di risviluppo e di sistemazione dell'area a parco.

Per le aree soggette a messa in sicurezza permanente sono previste due differenti tipologie di sistemazione:

1. Aree MISP a singola impermeabilizzazione (capping)

Tale intervento è relativo alle aree non oggetto di escavazione in cui è prevista la copertura del terreno in sito, non interessate dalla presenza dei sistemi di confinamento.

Le aree oggetto di messa in sicurezza mediante impermeabilizzazione singola saranno preventivamente sagomate, anche utilizzando materiali escavati idonei al riutilizzo, al fine di consentire l'eventuale deflusso delle acque verso i punti di raccolta.

Successivamente sarà realizzata una copertura impermeabile multistrato, completata con strato vegetale di copertura o con pavimentazione carrabile impermeabile (area a Sud di via Morosini).

2. Aree MISP a doppia impermeabilizzazione (confinamento)

Tale intervento è relativo alle aree interessate dalla realizzazione dei rilevati costituiti dai terreni e materiali offetto di incapsulamento.

L'impermeabilizzazione di fondo avrà la funzione di barriera fisica con lo scopo di interrompere i percorsi di migrazione dei contaminanti (lisciviazione, migrazione di polveri e vapori) e i conseguenti percorsi di esposizione (contatto dermico e ingestione con il suolo superficiale, inalazione di polveri e vapori).

Il fondo così realizzato sarà seguito da uno strato di regolarizzazione e di uno strato impermeabile minerale argilloso allo scopo di favorire la messa in opera dei sistemi di confinamento per i materiali non idonei al riutilizzo o al trattamento tramite Soil Washing.

Il sistema di confinamento sarà completato con pacchetto impermeabile multistrato e posa di strato di copertura vegetale. Lo strato di base e lo strato superficiale saranno opportunamente saldati nel perimetro di congiunzione al fine di isolare eventuali vapori e/o acque di condensa.

Le caratteristiche dei pacchetti di impermeabilizzazione sono descritte dettagliatamente al par. 9.5.3.

## 9.5.2. Documenti di riferimento

Per la progettazione dei pacchetti di impermeabilizzazione si è fatto riferimento ai documenti, normative e riferimenti bibliografici di seguito richiamati.

### *Integrazioni progettuali richieste da ARPA Brescia*

- Progetto Operativo di Bonifica e Messa in Sicurezza Permanente ai sensi del d.lgs 3 aprile 2006 n.152 – Commissario Straordinario “Siti d’Interesse Nazionale Brescia-Caffaro” – Stabilimento “Caffaro” – Parere Tecnico (Brescia, 23 settembre 2019)

### *Caratteristiche dei pacchetti di impermeabilizzazione*

- D.lgs 13 gennaio 2003 n.36 – “Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti”
- Provincia di Milano – Linee guida per la verifica ed il collaudo delle barriere impermeabili per la messa in sicurezza di siti contaminati (2003)

### *Analisi di predimensionamento della rete di regimazione delle acque meteoriche*

- R.R. n° 7/2017 – Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell’invarianza idrologica e idraulica ai sensi dell’articolo 58 bis della L.R. 11 marzo 2005, n° 12, così come modificato dai R.R. n° 7/2018 e n° 8/2019
- “Il regime delle precipitazioni intense sul territorio della Lombardia – Modello di Previsione Statistica delle Precipitazioni di Forte Intensità e Breve Durata” Carlo De Michele, Renzo Rosso e Maria Cristina Rulli DIIAR – CIMI, Politecnico di Milano (Febbraio 2005)

### *Analisi del cedimento atteso e verifiche di stabilità globale delle scarpate*

- Circolare 21 gennaio 2019, n.7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. Gazzetta Ufficiale del 11.02.2019 n. 5, supplemento ordinario n.35
- D.M. 17/01/2018 “Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” - GU n°8 del 17/2/2018

## 9.5.3. Caratteristiche dei pacchetti di impermeabilizzazione

I pacchetti di impermeabilizzazione previsti nell’ambito degli interventi di MISP sono stati definiti nel rispetto di quanto previsto dal D.lgs 13 gennaio 2003 n.36 – “Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti” ai fini del conferimento delle seguenti tipologie di materiale. Sono stati pertanto definite le seguenti tipologie di sistemi:

- Tipo A: materiali destinati a sistema MISP con caratteristiche conformi a impianto di discarica per rifiuti non pericolosi

- Tipo B: materiali destinati a sistema MISP con caratteristiche conformi a impianto di discarica per rifiuti pericolosi

In particolare sono state definite le seguenti stratigrafie “tipo” di Capping:

Capping “superficiale” tipo 1. Tale intervento è relativo alle aree non oggetto di escavazione in cui è prevista la copertura del terreno in sito;

Capping “superficiale” tipo 2. Tale intervento è relativo alla sommità dei rilevati costituiti da terreni oggetto di MISP;

Capping “di fondo”. Tale intervento è relativo alla base rilevati costituiti da terreni oggetto di MISP.

Per la realizzazione degli strati a bassa permeabilità si prevede l'utilizzo di geocompositi bentonitici i quali, oltre a garantire prestazioni di impermeabilità elevatissime consentono la minimizzazione dei volumi e dei costi di trasporto ed una maggiore semplicità e rapidità di applicazione.

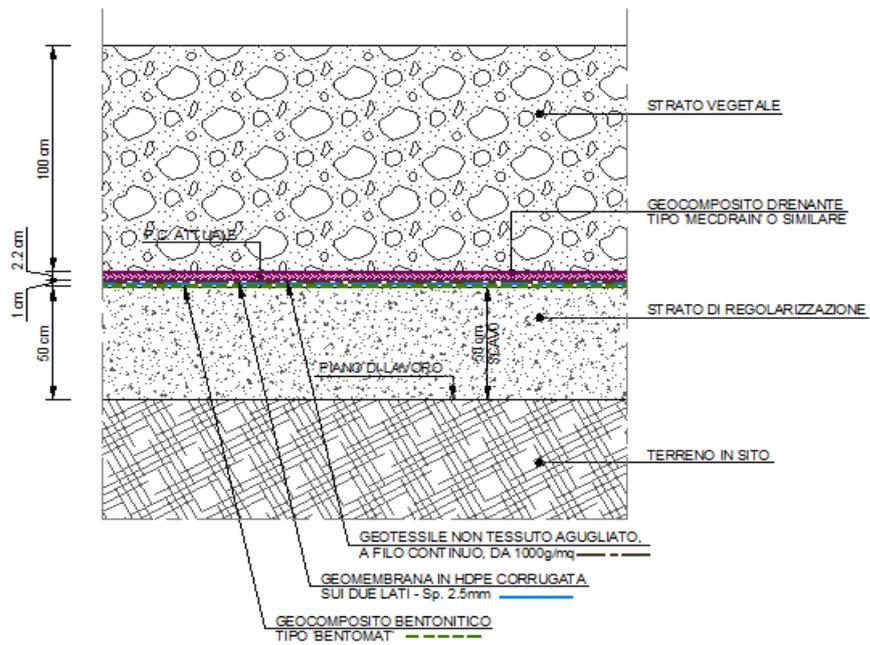
Per la gestione della acque meteoriche che si infiltrano nel suolo nelle superfici a verde, sarà realizzato un sistema di drenaggio costituito da un elemento drenante con elevata capacità idraulica (geocomposito drenante), posto appena sopra alla geomembrana di impermeabilizzazione. L'utilizzo del geocomposito drenante inoltre di proteggere il sistema di impermeabilizzazione dal danneggiamento meccanico per punzonamento in fase di posa e di rinterro e prevenire l'intasamento del tubo collettore ad opera delle particelle fini del terreno.

Nelle seguenti figure sono illustrati i dettagli degli strati e degli elementi costituenti i pacchetti di impermeabilizzazione sopra descritti (sezioni tipo interventi di Capping). Si osserva quanto segue:

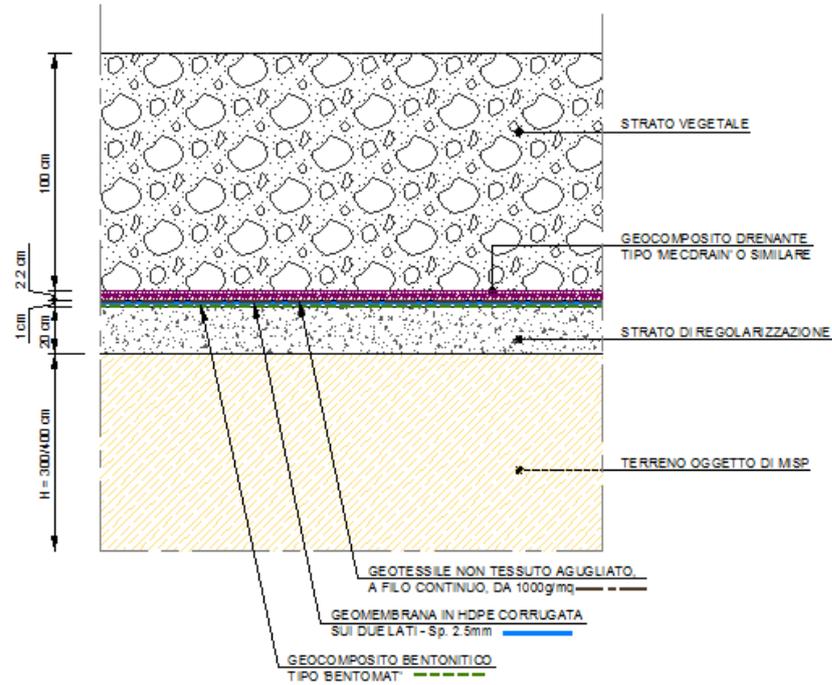
- Gli interventi di capping “superficiale” nelle aree a singola impermeabilizzazione e di capping “di fondo” sono previsti a partire da un piano di lavoro posto indicativamente a 50cm da quota p.c. locale, con rimozione del pacchetto pavimentazione esistente;
- Lo **strato superficiale di terreno vegetale** presenta uno spessore di 1 m in accordo a quanto previsto dalla Norma, al fine di consentire la piantumazione ed il rinverdimento delle aree;
- Per gli strati con funzione di drenaggio ed intercettazione delle acque (meteoriche e di condensa) si prevede l'impiego di un **geocomposito drenante** tipo “enkadrain”;
- A protezione dello strato con funzione di barriera impermeabile si prevede la posa di un **geotessile non tessuto agugliato a filo continuo** e di una **geomembrana in HDPE corrugata sui due lati**;
- Per lo strato con funzione di barriera impermeabile si prevede l'impiego di un **geocomposito bentonitico** tipo “bentomat” in grado di garantire una permeabilità equivalente a quella ottenuta mediante posa di uno strato di 1m di argilla compattata;
- Ad ulteriore protezione nei confronti del geocomposito bentonitico, nel capping “di fondo” si prevede la posa di **uno strato di argilla minerale compattata di spessore pari a 20cm**;
- Alla base dello strato di argilla si prevede la posa di uno **strato di materiale drenante** (tout-venant di cava) di spessore pari a 10cm con funzione di intercettazione di eventuali gas interstiziali nel terreno in sito;

- Lo strato di regolarizzazione di base assolve infine alla funzione di creazione di un piano di posa regolare e di definizione delle pendenze di progetto.

## CAPPING SUPERFICIALE TIPO 1



## CAPPING SUPERFICIALE TIPO 2



## CAPPING DI FONDO (1:20)

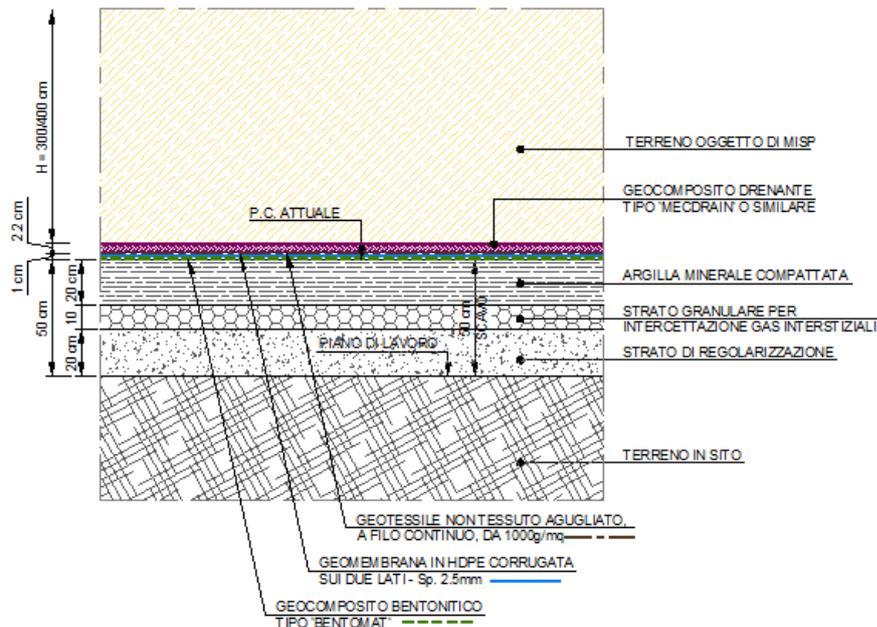


Figura 55: Interventi di MSP – Sezioni tipo interventi di Capping

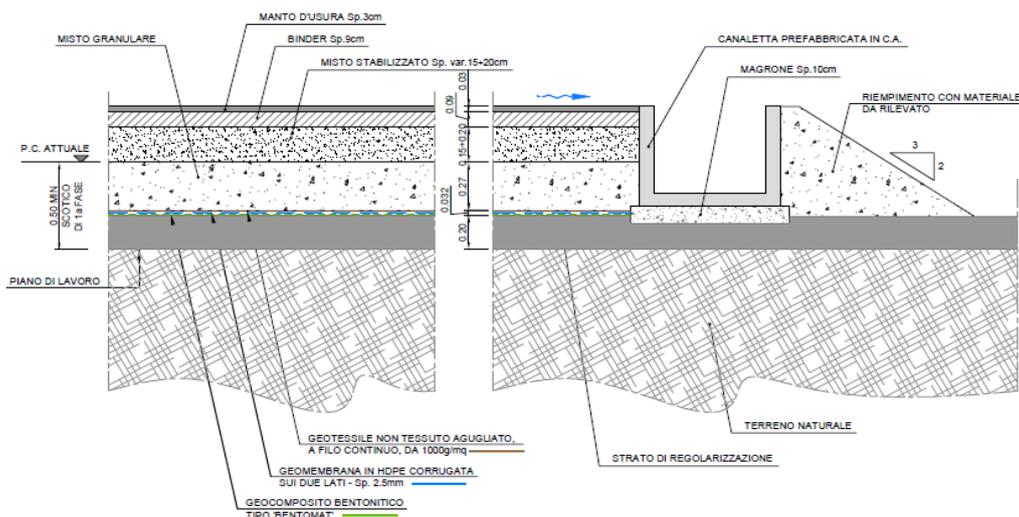
Le caratteristiche prestazionali “minime” degli elementi costituenti i pacchetti sopra descritti sono di seguito elencate:

Terreno vegetale:	Assenza di clasti spigolosi pH = 6.5÷7.5 percentuale di materia organica = 5÷20%
Geocompositi drenanti:	Massa areica = 1000g/mq Resistenza a trazione longitudinale = 20kN/m Deformazione a carico massimo longitudinale > 50% Tramissività longitudinale = $10^{-3}$ m/s <sup>2</sup>
Geotessile non tessuto:	Massa areica > 600g/mq Resistenza a trazione > 38kN/m Deformazione a carico massimo > 80%
Geomembrana in HDPE:	Spessore = 2.5mm Massa volumica > 0.94g/cm <sup>3</sup> Resistenza a rottura > 26MPa Allungamento a rottura > 700% Resistenza a snervamento > 15MPa Allungamento a snervamento > 9%
Geocompositi bentonitici:	Massa areica = 4000g/mq Resistenza a trazione longitudinale = 20kN/m Resistenza a trazione trasversale = 10kN/m Deformazione a carico massimo longitudinale > 10% Deformazione a carico massimo longitudinale > 8% Coefficiente di permeabilità = $5 \times 10^{-11}$ m/s
Argilla minerale:	Conducibilità idraulica < $10^{-8}$ m/s Contenuto in argilla > 10% Contenuto in ghiaia < 40% Passante al setaccio 200 ASTM > 30% Limite liquido = 25÷50% Indice di plasticità = 10÷30% Massima dimensione elementi lapidei = 25mm
Strato drenante:	Conducibilità idraulica > $10^{-4}$ m/s Passante al setaccio 200 ASTM < 5% Massima dimensione elementi lapidei = 30mm
Strato di regolarizzazione:	Grado di compattazione > 95% da prova Proctor Standard

Per l'area a Sud di via Morosini, oggetto di messa in sicurezza mediante capping superficiale, il pacchetto di impermeabilizzazione risulterà analogo a quanto previsto per le aree a singola impermeabilizzazione (capping superficiale tipo 1); lo strato di copertura sarà costituito da una nuova pavimentazione carrabile in conglomerato bituminoso e manto di usura o soletta in cls.

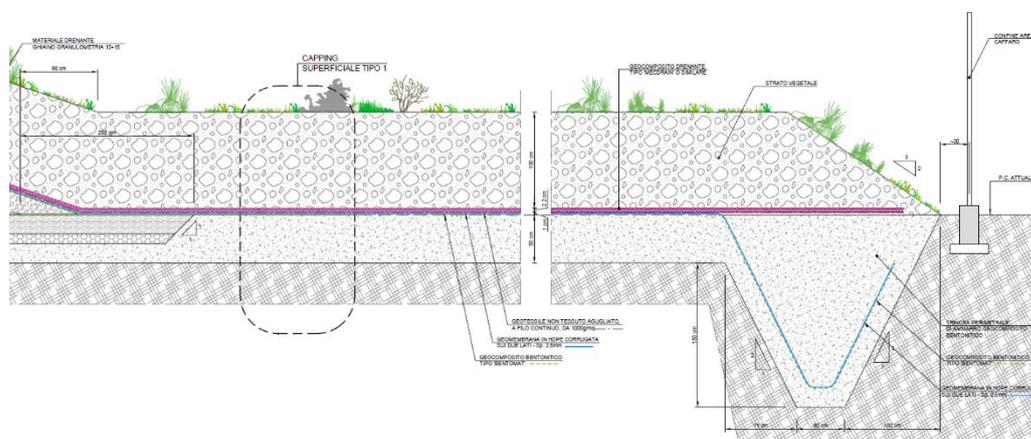
Le superfici impermeabilizzate saranno realizzate in modo tale da prevedere le pendenze idonee a garantire il deflusso superficiale delle acque meteoriche verso il sistema di raccolta delle acque.

La seguente figura illustra la sezione tipo del pacchetto di impermeabilizzazione superficiale per tale area.



**Figura 56: Sezione tipico pacchetto impermeabilizzazione e copertura piazzale via Morosini**

Nelle aree soggette a MISP è stata prevista la realizzazione di una trincea perimetrale profonda 1,5 m da p.c. con funzione di ammorsamento del pacchetto impermeabilizzante (geocomposito + geomembrana) e protezione dello strato di terreni e riporti più superficiali da potenziali infiltrazioni dalle aree esterne.



**Figura 57: Sezione tipico pacchetto doppia impermeabilizzazione**

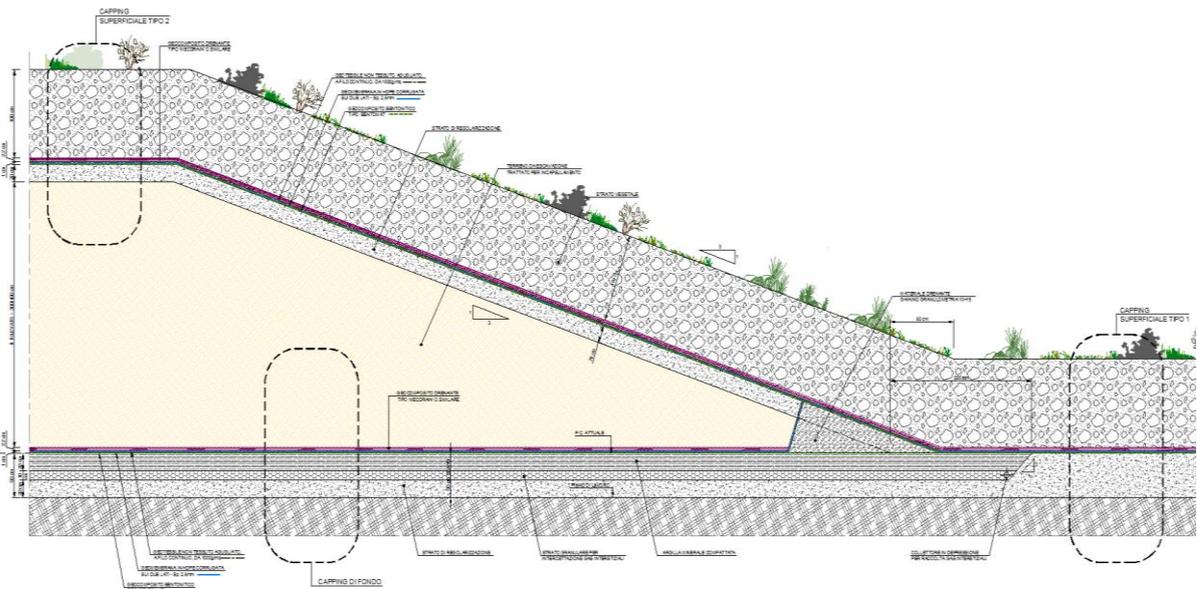




**Figura 58: Interventi di MISP – Planimetria di progetto**

Si evidenzia nuovamente che la geometria dei rilevati ed il layout planoaltimetrico di progetto potranno essere oggetto di modifiche e ottimizzazioni in funzione della progettazione esecutiva e/o del futuro progetto urbanistico di risviluppo e di sistemazione dell'area a parco, fatto salvo il rispetto delle caratteristiche costruttive e dei vincoli prestazionali dei sistemi di MISP descritti.

In figura n.59 è invece illustrata la sezione tipologica del rilevato di materiale oggetto di MISP con indicate le geometrie di progetto e gli elementi costituenti i pacchetti di capping "superficiale" e "di fondo".



**Figura 59: Interventi di MISP – Sezione tipologica**

I volumi di progetto relativi alla planimetria sopra illustrata, distinti per tipologia di materiale e per lotto di intervento, sono riportati nell'abaco di cui alla figura n.60.

TERRENI OGGETTO DI MISP - ABACO VOLUME RILEVATI				
	Volume	Tipologia materiale	Altezza (m) [*]	Volume (mc)
LOTTO MILANO+FUNZIONALE	V1	A	4.00	18.800
	V2	B	4.00	26.500
LOTTO DI COMPLETAMENTO	V1	A	3.00	18.600
	V2	B	3.00	23.700
	V3	B	3.00	7.600

[\*] Al netto del capping superficiale

Materiale tipo "A": caratteristiche conformi a impianto di discarica per rifiuti non pericolosi

Materiale tipo "B": caratteristiche conformi a impianto di discarica per rifiuti pericolosi

**Figura 60: Interventi di MISP – Abaco dei volumi di rilevati**

#### 9.5.5. Rete di regimazione acque meteoriche

L'area in oggetto verrà resa completamente impermeabile per impedire l'interazione tra il terreno sottostante e le acque meteoriche, mediante confinamento superficiale (capping). Per tale motivo è necessario predisporre una rete di smaltimento delle acque meteoriche per inviare le acque al recapito finale individuato con il corso d'acqua superficiale "Roggia Fiumicella Ramo Est".

Lungo l'intero perimetro dell'area impermeabilizzata superficialmente, sarà all'evenienza alloggiata una canaletta in calcestruzzo di raccolta delle acque meteoriche provenienti dalla copertura. Tale canaletta si raccorderà al sistema fognario di stabilimento.

La regimazione delle acque superficiali sarà garantita dalle pendenze attribuite alle aree impermeabilizzate.

La canaletta perimetrale e le opportune pendenze del sistema di impermeabilizzazione saranno dimensionate in fase di progettazione di dettaglio.

Al fine di perseguire l'invarianza idraulica e idrologica delle trasformazioni d'uso del suolo e riequilibrare il regime idrologico e idraulico naturale, si prevede di dimensionare le opere di smaltimento sulla base del R.R. n° 7/2017 (Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idrologica e idraulica ai sensi dell'articolo 58 bis della L.R. 11 marzo 2005, n° 12, così come modificato dai r.r. n° 7/2018 e n° 8/2019).

Considerando la superficie estesa (circa 7 ha) dell'area, si prevede di realizzare al termine della rete di smaltimento acque un bacino di laminazione finalizzato a garantire l'invarianza idraulica e limitare l'immissione delle portate meteoriche nella roggia al valore limite previsto da normativa (10 l/s/ha, r.r. N° 7/2017).

Resta inteso che le autorizzazioni e le verifiche relative al regime di portata della roggia Fiumicella per effetto del nuovo manufatto di scarico in progetto, dovranno essere approfonditi nelle successive fasi progettuali in accordo con l'Ente Gestore.

### 9.5.5.1. Idrologia

Per dimensionare la rete di drenaggio dell'area è necessario stimare la quantità di pioggia che la rete deve smaltire in occasione delle precipitazioni di maggiore intensità.

Attraverso l'elaborazione statistica dei massimi annuali di pioggia relativi a piogge di forte intensità e breve durata (scrosci, 10' 15' 30' 1h 3h 6h 12h 24h) registrati nell'arco di almeno un ventennio in una stazione pluviografica vicina all'area oggetto del progetto della rete di fognatura, si ricavano le curve di possibilità pluviometrica (o curve segnalatrici di possibilità pluviometrica o curve di possibilità climatica).

Usualmente si adotta allo scopo la classica relazione monomia dell'altezza di pioggia:

$$h = a t^n$$

essendo  $h$  l'altezza di precipitazione [mm],  $t$  la durata dell'evento meteorico [h],  $a$  e  $n$  parametri delle linee di possibilità pluviometrica.

Queste curve (curve di possibilità pluviometrica) consistono essenzialmente in relazioni matematiche che legano le caratteristiche integrali delle precipitazioni massime, cioè l'altezza complessiva di pioggia  $h$  [mm], la sua intensità media  $i$  [mm/h] e la sua durata  $t$  [h] alla probabilità di accadimento  $P[h(t)]$  (funzione di distribuzione di probabilità della variabile  $h$ ).

Note quindi le osservazioni dell'altezza di pioggia per una certa durata è possibile derivare la funzione di distribuzione della probabilità dei valori massimi annuali e quindi stimare l'altezza di pioggia corrispondente ad una certa probabilità di non superamento (o a un certo tempo di ritorno).

Il riferimento per la Lombardia è il documento "Il regime delle precipitazioni intense sul territorio della Lombardia – Modello di Previsione Statistica delle Precipitazioni di Forte Intensità e Breve Durata" a cura di Carlo DeMichele, Renzo Rosso e Maria Cristina Rulli DIIAR – CIMI, Politecnico di Milano, Febbraio 2005, che contiene le valutazioni effettuate al fine di prevedere statisticamente le precipitazioni di forte intensità e breve durata.

Da tale studio la Regione Lombardia ha sviluppato un Servizio di Consultazione Online da cui desumere le curve di possibilità pluviometrica (qui denominate linee segnalatrici di possibilità pluviometrica) tarate su ogni punto del territorio lombardo in funzione del tempo di ritorno, come illustrato in figura n.61.

## Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: Via Morosini Brescia  
 Coordinate: 1593389, 5043853

Linea segnatrice

Tempo di ritorno (anni) **25**

Parametri ricavati da: <http://idro.arpa.lombardia.it>

A1 - Coefficiente pluviometrico orario 28.2000001  
 N - Coefficiente di scala 0.27590001  
 GEV - parametro alpha 0.28290001  
 GEV - parametro kappa -0.0191  
 GEV - parametro epsilon 0.83109999

Evento pluviometrico

Durata dell'evento [ore] **25**

Precipitazione cumulata [mm] **119.561552**

Formulazione analitica

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

Bibliografia ARPA Lombardia:

<http://idro.arpa.lombardia.it/manual/ispn.pdf>

[http://idro.arpa.lombardia.it/manual/STRADA\\_report.pdf](http://idro.arpa.lombardia.it/manual/STRADA_report.pdf)

### Tabella delle precipitazioni previste al variare delle durate e dei tempi di ritorno

Tr	2	5	10	20	50	100	200	25
wT	0.93515	1.26157	1.48161	1.69566	1.97713	2.19137	2.40768	1.76417693
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 25 anni
1	26.4	35.6	41.8	47.8	55.8	61.8	67.9	49.7497897
2	31.9	43.1	50.6	57.9	67.5	74.8	82.2	60.2345164
3	35.7	48.2	56.6	64.7	75.5	83.7	91.9	67.364177
4	38.7	52.2	61.2	70.1	81.7	90.6	99.5	72.9288906
5	41.1	55.5	65.1	74.5	86.9	96.3	105.9	77.5598714
6	43.2	58.3	68.5	78.4	91.4	101.3	111.3	81.561211
7	45.1	60.9	71.5	81.8	95.4	105.7	116.1	85.1047513
8	46.8	63.1	74.2	84.9	99.0	109.7	120.5	88.2985935
9	48.4	65.2	76.6	87.7	102.2	113.3	124.5	91.215106
10	49.8	67.2	78.9	90.3	105.2	116.6	128.2	93.9055497
11	51.1	68.9	81.0	92.7	108.0	119.8	131.6	96.407651
12	52.3	70.6	82.9	94.9	110.7	122.7	134.8	98.7500595
13	53.5	72.2	84.8	97.0	113.1	125.4	137.8	100.955093
14	54.6	73.7	86.5	99.0	115.5	128.0	140.6	103.040507
15	55.7	75.1	88.2	100.9	117.7	130.5	143.3	105.020683
16	56.7	76.4	89.8	102.8	119.8	132.8	145.9	106.907448
17	57.6	77.7	91.3	104.5	121.8	135.0	148.4	108.710657
18	58.5	79.0	92.7	106.1	123.8	137.2	150.7	110.438614
19	59.4	80.2	94.1	107.7	125.6	139.2	153.0	112.098391
20	60.3	81.3	95.5	109.3	127.4	141.2	155.2	113.696066
21	61.1	82.4	96.8	110.8	129.1	143.1	157.3	115.2369
22	61.9	83.5	98.0	112.2	130.8	145.0	159.3	116.725483
23	62.6	84.5	99.2	113.6	132.4	146.8	161.3	118.165847
24	63.4	85.5	100.4	114.9	134.0	148.5	163.2	119.561552

### Linee segnatrici di probabilità pluviometrica

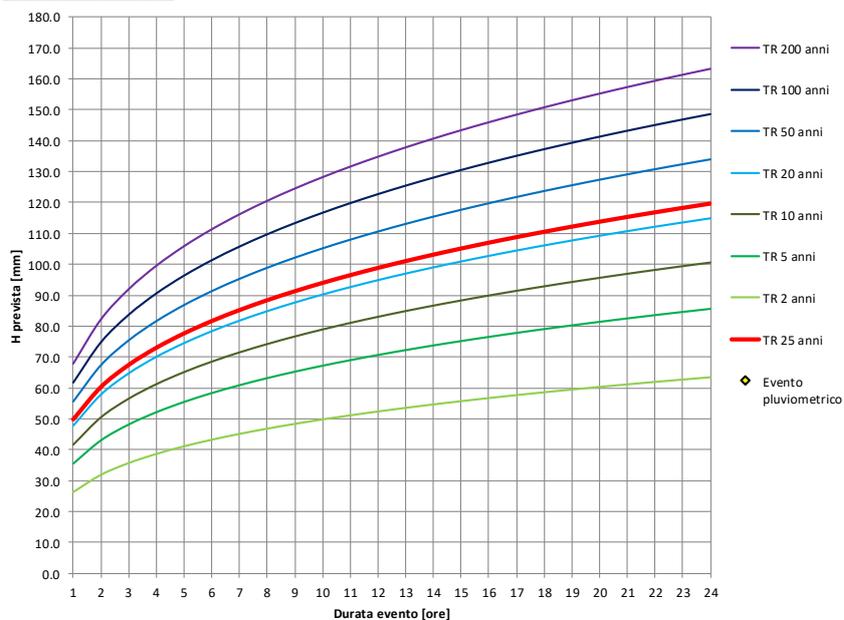


Figura 61: Estratto linee di possibilità pluviometrica area d'intervento regione Lombardia (fonte : Servizio Idrografico ARPA Lombardia)

Di seguito si riportano i parametri (a e n) delle curve di possibilità pluviometrica relativi al sito d'intervento per piogge maggiori dell'ora:

$$n = 0.276$$

Tr	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni	100 anni
a	26.4	35.6	41.8	47.8	55.8	61.8

Le leggi di pioggia calcolate sono valide per tempi di corrivazione superiori all'ora. Per determinare le leggi di pioggia valide per eventi di breve durata, inferiori all'ora, si impone un valore di  $n = 0,5$ .

#### 9.5.5.1.1. Tempo di ritorno di progetto

La quantità di pioggia che la rete deve smaltire è funzione, oltre che della durata dell'evento meteorico, del tempo di ritorno  $Tr$ . In altre parole la funzione  $P[h(t)]$  cioè la probabilità che avvenga un evento meteorico di durata  $t$  che genera un'altezza di pioggia  $h$  è legata al tempo  $Tr$  dalla relazione:

$$Tr = \frac{1}{1 - P(h)}$$

Dove  $Tr$  rappresenta quindi il periodo di tempo che statisticamente intercorre mediamente tra due eventi nei quali il valore di tale altezza di pioggia non viene superato.

In considerazione dell'importanza ambientale e della localizzazione urbana dell'area, si prevede un tempo di ritorno di progetto pari a 50 anni.

I parametri utilizzati sono i seguenti:

- Per durate inferiori all'ora:

T = 50 anni	<b>a = 55,80</b>
	<b>n = 0,500</b>

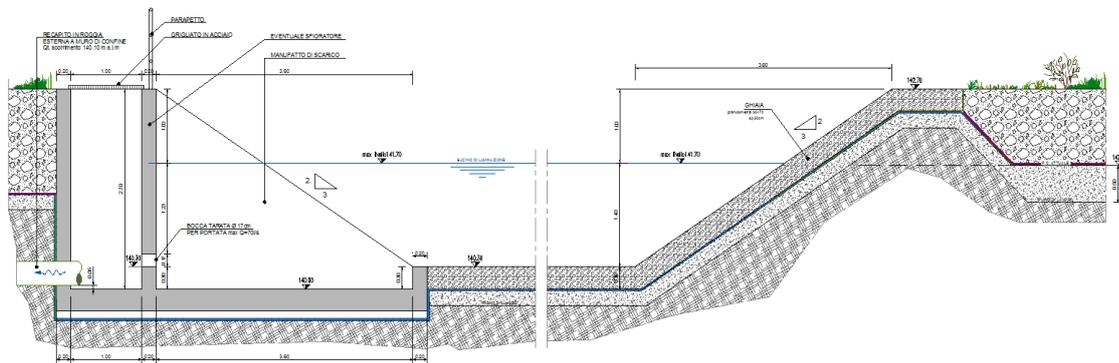
- Per durate superiori all'ora:

T = 50 anni	<b>a = 55,80</b>
	<b>n = 0,276</b>

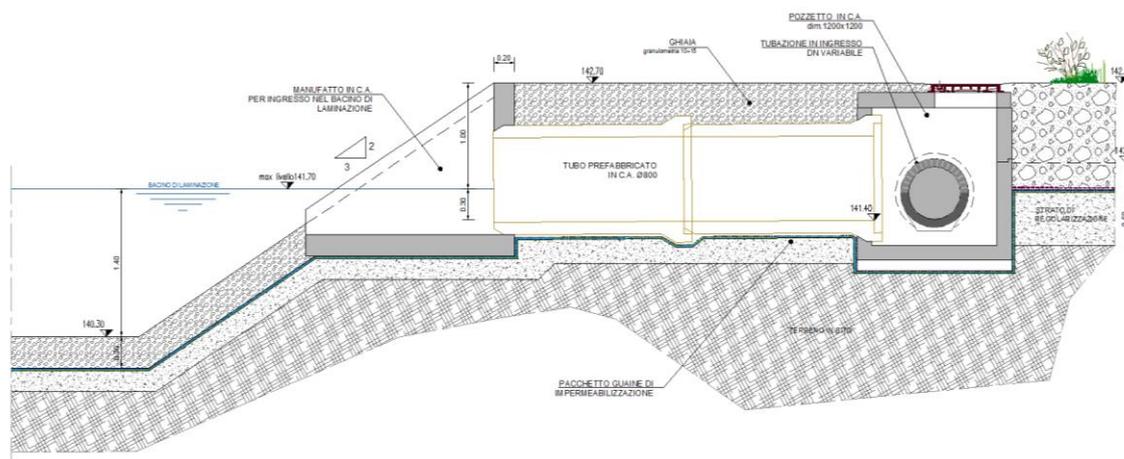
#### 9.5.5.1.2. Tempo di corrivazione

Vista la superficie e la conseguente risposta idrologica, si assume cautelativamente un tempo di corrivazione pari a 15 min per la rete di smaltimento acque.





**Figura 63: Sezione tipo bacino di laminazione e manufatto di scarico tarato**



**Figura 64: Sezione tipo manufatto di sbocco in entrata**

#### 9.5.5.1.5. *Predimensionamento del bacino di laminazione*

Il dimensionamento del volume del bacino si basa su quanto previsto dal R.R. n° 7 2017 (di seguito Regolamento), così come modificato e integrato dai r.r. n° 07/2018 e n° 08/2019.

Con riferimento all'art. 7 del Regolamento l'intervento in progetto ricade all'interno del Comune di Brescia, rientrante all'interno dell'area A, ad alta criticità idraulica, come riportato nell'allegato C del Regolamento.

Per le aree A è ammesso uno scarico nei recettori di 10 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento.

L'art. 9 comma 1 del Regolamento indica che, "ai fini dell'individuazione delle diverse modalità di calcolo dei volumi da gestire per il rispetto del principio d'invarianza idraulica e idrologica, gli interventi siano suddivisi a seconda della superficie interessata dall'intervento e dal coefficiente di deflusso medio ponderale, calcolato ai sensi dell'art. 11, comma 2 lettera d, numero 2".

Vista la particolarità e delicatezza dell'intervento, si assume che la superficie scolante impermeabile dell'intervento sia quella complessiva dell'intervento (benché allo stato attuale l'area sia caratterizzata

dalla presenza degli edifici dello stabilimento Caffaro e da pavimentazioni impermeabili, si applica il principio di invarianza idraulica che considera come dato di partenza le condizioni preesistenti all'urbanizzazione).

La superficie scolante impermeabile dell'intervento è pari alla superficie complessiva dell'area di messa in sicurezza, pari a  $S = 6,938$  ha. Il coefficiente di deflusso medio ponderale, vista l'impermeabilità dell'area in progetto, si assume pari a 1.

Sulla base della tabella 1 del Regolamento si ottiene una classe d'intervento "impermeabilizzazione potenziale alta". Visto che l'ambito territoriale è l'area A, il metodo di calcolo è la procedura dettagliata (articolo 11 e allegato G del Regolamento).

Nel presente progetto preliminare si predimensiona il bacino applicando il requisito minimo delle misure di invarianza idraulica e idrologica (art. 12 del Regolamento, commi 2 e 3). Nel caso del Comune di Brescia il valore parametrico del volume minimo d'invaso è pari a 800 mc/ha moltiplicato per il coefficiente  $P = 0,8$ , ottenendo un valore di 640 mc/ha. Considerando una superficie dell'intervento di 6,930 ha, si ottiene un volume di laminazione pari a 4'440 mc. Nelle successive fasi progettuali si eseguirà il calcolo con la procedura dettagliata.

La portata massima in uscita risulta pari a massimi 70 l/s. Si riassumono qui di seguito le caratteristiche dell'intervento:

Ambito territoriale d'applicazione	Area ad alta criticità idraulica A
Coefficiente deflusso medio ponderale	1,0
Valore parametrico volume minimo d'invaso	640 mc/ha
Coefficiente P	0,8
Superficie scolante impermeabile dell'intervento	6,938 ha
Requisito minimo volume di laminazione	4'440 mc
Scarico ammesso	10 l/s/ha
Portata limite	70 l/s

**Tabella 35: Caratteristiche dimensionali intervento**

Si precisa infine che, nel rispetto dei criteri di dimensionamento sopra esposti, la conformazione del bacino è stata prevista in modo tale da garantire i volumi minimi di invaso anche considerando la scansione temporale dei lotti di intervento, come di seguito indicato (per maggiori dettagli si rimanda allo specifico elaborato grafico):

- Lotto Via Milano + Funzionale (2.74ha circa):  $V =$  volume minimo di laminazione  $\cong 1'760$ mc
- Lotto Di Completamento (4.15ha circa):  $V =$  volume minimo di laminazione  $\cong 2'700$ mc

## 9.5.5.1.6. Dimensionamento della rete di smaltimento delle acque meteoriche

### 9.5.5.1.6.1. Afflussi meteorici

I canali perimetrali sono stati dimensionati per un evento con tempo di ritorno cinquantennale (TR=50 anni).

I risultati dell'analisi pluviometrica sono riportati nel paragrafo specifico, nel seguito si ripetono brevemente i valori dei parametri utilizzati nel dimensionamento della rete in oggetto.

Scelta la curva di possibilità pluviometrica con una legge a due parametri del tipo:

$$h = a t^n$$

dove:

- **h** è l'altezza di pioggia;
- a e n sono i due parametri della curva, dipendenti dal tempo di ritorno;
- t è la durata della pioggia.

In riferimento ad un evento di pioggia di durata inferiore all'ora e tempo di ritorno di progetto pari a 50 anni si considerano i seguenti valori: a=55,8, n=0.500. Per un tempo di corrvazione di 15 min, l'intensità di pioggia corrisponde a  $i = 111,6$  mm/h, pari a un coefficiente udometrico  $u = 310,0$  l/s/ha.

### 9.5.5.1.6.2. Valutazione della portata al colmo

La forzante idraulica agente in ciascuna sezione di calcolo è stata determinata applicando il metodo razionale. Tale metodo consente di valutare la massima portata al colmo [l/s] mediante la seguente espressione:

$$Q_{max} = \varphi \cdot i \cdot S / 3600$$

con:

- **S** = superficie drenata dall'i-esimo collettore [ha];
- **i** = intensità di pioggia [mm/h];
- **$\varphi$**  = coefficiente di deflusso.

Tale metodo si basa sulle seguenti ipotesi:

- gocce di pioggia cadute contemporaneamente in luoghi diversi del bacino, arrivano alla sezione di chiusura in tempi diversi;
- il contributo di ogni singolo punto del bacino alla portata di piena è direttamente proporzionale all'intensità di pioggia caduta in quel punto per il tempo necessario al raggiungimento della sezione di chiusura da parte del contributo stesso;
- tale tempo è caratteristico di ogni singolo punto e rimane costante per tutta la durata del fenomeno pluviometrico.
- Per il tempo di corrvazione utilizzato si fa riferimento a quanto indicato precedentemente.

La riduzione dell'afflusso ( $\varphi$ ) alla rete si considera dovuta principalmente a impermeabilità e ritardo, che variano a seconda della densità delle costruzioni e della topografia della zona.

Nel caso in esame è stato adottato un coefficiente di deflusso  $\phi$  pari a 1.0 in quanto l'area è completamente impermeabilizzata.

### 9.5.5.1.6.3. Metodologia di verifica idraulica

L'analisi idraulica dei collettori viene eseguita mediante valutazione del deflusso della corrente a pelo libero in condizioni di moto uniforme. La formula utilizzata è quella di Gauckler-Strickler valida per deflussi a pelo libero:

$$Q = k_s \cdot \Omega \cdot R^{2/3} \cdot i_f^{1/2} = k_s \cdot \Omega^{5/3} \cdot B^{3/2} \cdot i_f^{1/2}$$

nella quale:

- $Q$  = portata liquida all'interno del collettore;
- $k_s$  = coefficiente di scabrezza (assunto cautelativamente pari a 70m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup> per tubazioni in cls);
- $\Omega$  = area della sezione di deflusso;
- $i_f$  = pendenza tubazione, costante e pari al 0,5%
- $R$  = raggio idraulico;
- $B$  = perimetro bagnato.

I collettori dovranno essere sempre verificati con un grado di riempimento massimo GR<sub>max</sub>=80%, calcolato mediante la formula di Gauckler-Strickler.

### 9.5.5.1.6.4. Risultati delle verifiche idrauliche

Si riporta a seguire la stima della portata di progetto dei collettori e la verifica a moto uniforme dei collettori:

Tratta	S <sub>eq</sub> mq	Collettori -	Q <sub>prog</sub> l/s	v m/s	Gr %	y m
A1 - B1	4086	DN400	126.7	1.21	77.4%	0.31
A3 - B2	4139	DN400	128.3	1.21	78.4%	0.31
B2 - B3	7585	DN500	235.1	1.41	79.2%	0.40
B1 - C1	4979	DN500	154.3	1.31	57.9%	0.29
B3 - C1	8956	DN600	277.6	1.51	61.8%	0.37
C1 - C2	22525	DN800	698.3	1.89	68.9%	0.55
A4 - B4	3162	DN400	98.0	1.16	63.5%	0.25
B4 - B5	5675	DN500	175.9	1.35	63.1%	0.32
B5 - C2	7649	DN600	237.1	1.46	55.8%	0.34
A7 - B6	3816	DN400	118.3	1.20	73.0%	0.29
B6 - C3	5498	DN500	170.4	1.34	61.7%	0.31
B7 - C3	8066	DN600	250.0	1.48	57.7%	0.35
C3 - C5	12775	DN800	396.0	1.66	48.0%	0.38
A8 - A10	1309	DN400	40.6	0.93	37.7%	0.15
A10 - B8	3244	DN400	100.6	1.17	64.6%	0.26
A9 - B9	3850	DN400	119.4	1.21	73.5%	0.29
B8 - B9	6814	DN500	211.2	1.39	72.1%	0.36
A15 - B10	3468	DN400	107.5	1.19	67.8%	0.27
B10 - B11	4792	DN500	148.6	1.30	56.5%	0.28

B11 - C7	7227	DN600	224.0	1.44	53.9%	0.32
A13 - C8; A14 - C9	2560	DN400	79.4	1.11	55.4%	0.22
C7 - C10	16812	DN800	521.2	1.78	56.6%	0.45
C10 - C6	22218	DN800	688.8	1.88	68.2%	0.55

**Tabella 36: Stima della portata di progetto dei collettori e la verifica a moto uniforme dei collettori**

Dove:

- *Seq* : superficie scolante gravante sul collettore;
- *Qprog*: portata di progetto del collettore (tempo di ritorno 50 anni);
- *v* : velocità di scorrimento nel collettore;
- *Gr* : grado di riempimento;
- *y* : tirante idrico nel collettore.

Dai risultati delle verifiche si è ottenuto un grado di riempimento inferiore al 80%, pertanto le sezioni hanno una capacità di smaltimento sufficiente ad allontanare le acque drenate.

#### 9.5.6. Presidi di monitoraggio del sistema di MISP

##### 9.5.6.1. *Sistema di raccolta e monitoraggio condense e vapori*

I cumuli realizzati mediante l'incapsulamento dei materiali descritti precedentemente saranno costituiti da materiale dotato di scarsa umidità, non biodegradabile, per il quale non si prevede una produzione di biogas, nè di percolato, quanto al limite di una frazione di condense.

La progettazione dei rilevati oggetto di MISP ha quindi previsto la possibilità di drenare, raccogliere e smaltire le condense che si potrebbero venire a creare all'interno dei cumuli confinati.

Il sistema dovrà garantire la raccolta dei liquidi perché ristagni d'acqua potrebbero comportare una diminuzione della stabilità dei cumuli. A tal fine si prevede la realizzazione di una rete di raccolta condense all'interno dei rilevati formata da tubazioni in HDPE fessurate DE200 che recapitino l'eventuale accumulo di condensa fino a pozzetti in HDPE posti esternamente ai depositi. La giunzione in prossimità dello strato impermeabilizzante è prevista a tenuta.

Il sistema sarà dotato di uno strato di drenaggio/captazione che recapiterà ad uno o più pozzetti di raccolta che consentiranno di monitorare la presenza di condense per tutto il tempo di vita dell'intervento di impermeabilizzazione, o comunque per un tempo non inferiore a 30 anni dalla data di chiusura dell'attività (come previsto dal D. Lgs. 36/2003 per le discariche di equivalente categoria) e provvedere all'eventuale spurgo e invio a impianto di smaltimento autorizzato.

In caso di necessità, la rete di raccolta condense potrà essere utilizzata, anche per l'intercettazione e l'estrazione in sicurezza di eventuali vapori contaminati all'interno del materiale confinato attraverso il collegamento ad un apposito sistema di aspirazione e la messa in leggera depressione del sistema confinato (in tal caso i vapori estratti saranno convogliati ad un sistema di filtrazione).

Il sistema di raccolta sopra descritto dovrà essere realizzato in modo da:

- sopportare i carichi previsti;
- prevenire intasamenti ed occlusioni per tutto il periodo di funzionamento previsto;
- minimizzare il battente idraulico delle eventuali condense sul fondo.
- Il sistema di raccolta delle condense sarà costituito dai seguenti elementi principali:
- Strato drenante disposto sul fondo dello scavo con la funzione di captare e convogliare la condensa nei collettori. Sarà realizzato mediante l'utilizzo di ghiaia o georeti e sarà posizionato al di sopra dello strato di impermeabilizzazione (geomembrana);
- Rete di tubazioni fessurate in HDPE alloggiata all'interno dello strato drenante la quale permette di raccogliere e allontanare la condensa fuori dall'area interessata dal capping;
- Sistema di drenaggi verticali che si sviluppano per l'intera altezza del cumulo con la funzione di costituire vie preferenziali per il movimento della condensa dagli strati sovrastanti verso il fondo. Il sistema di drenaggio viene completato da pozzi verticali di raccolta costituiti da un rivestimento laterale e riempiti di ghiaia, all'interno dei quali viene inserito un tubo in polietilene rigido fessurato in modo tale da captare contemporaneamente anche gli eventuali gas formati;
- Pozzetti di raccolta finali dove la condensa arriva dal sistema di drenaggio ed infine viene allontanata per gravità o pompaggio verso l'opportuno trattamento.

Nella seguente figura n.66 è illustrata la sezione tipo del sistema di raccolta condense e vapori interni ai rilevati.

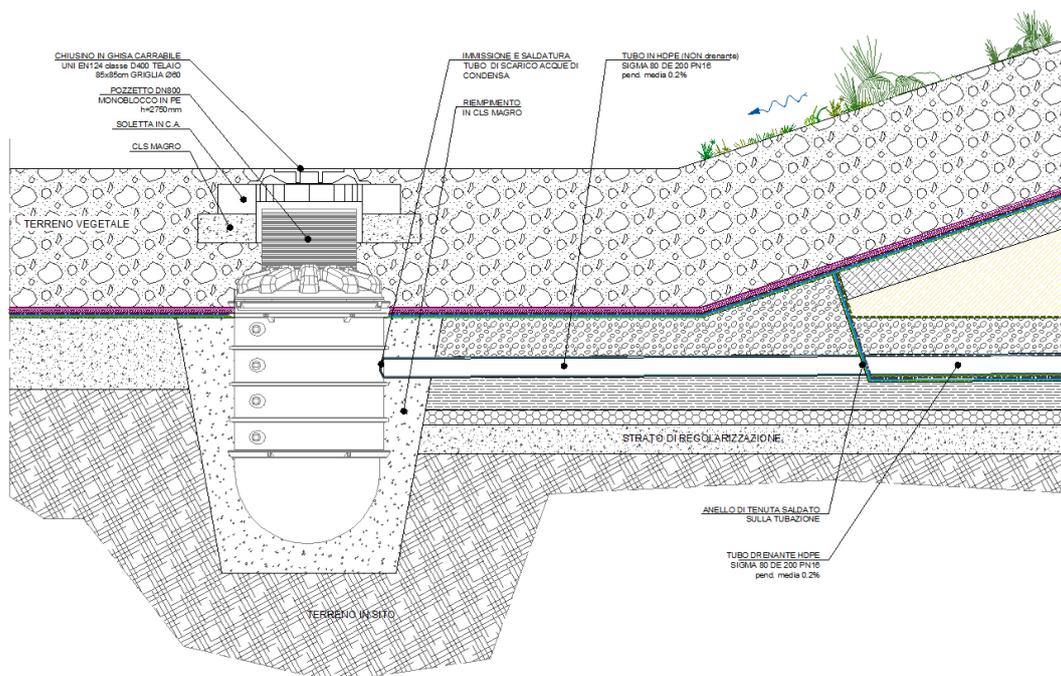


Figura 66: Sezione tipo raccolta condense e gas interni ai rilevati

## 9.5.6.2. Sistema di captazione vapori sottostante il capping di fondo

Nell'intorno delle aree di appoggio dei cumuli, si prevede la realizzazione di una rete costituita da tubi drenanti HDPE DN63mm con funzione di captazione di eventuali gas interstiziali dei terreni in posto, la cui condizione di stabilità/equilibrio potrebbe venire perturbata dalla variazione dello stato tensionale a seguito del carico trasmesso dai rilevati.

Per tale ragione il primo strato da posare sopra il terreno in posto sarà costituito da un sistema in grado di assolvere alla funzione di sfogo di eventuali gas interstiziali, qualora presenti, ed uno scambio di riequilibrio delle pressioni interstiziali conseguenti alla variazione di quella atmosferica.

La rete di captazione gas sarà posizionata al di sotto del capping di fondo, nell'intorno dell'impronta dei rilevati. Nella seguente figura n.67 è mostrato uno stralcio planimetrico (Lotto di Completamento – Volume V3) con indicate le tubazioni (linee rosse tratteggiate) ed i pozzetti di captazione (simboli "K" su sfondo verde) dei gas interstiziali nel terreno in sito.

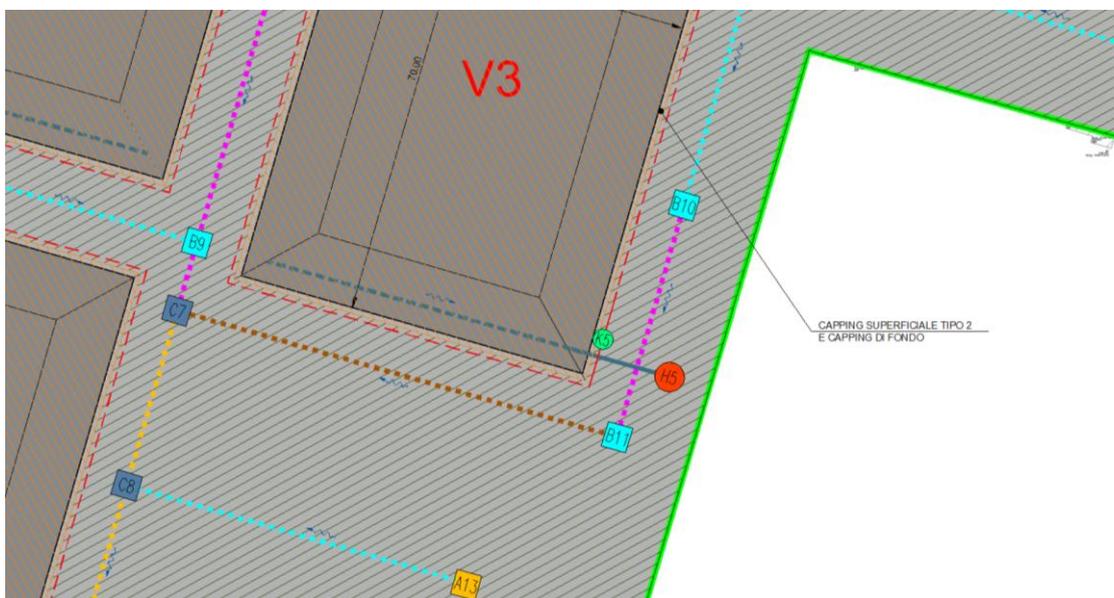


Figura 67: Stralcio planimetrico rete di captazione gas interstiziali nel terreno

Come evidenziato al paragrafo successivo (aspetti geotecnici connessi con gli interventi di MISP), considerata la natura prevalentemente granulare dei terreni di fondazione è possibile prevedere che i cedimenti si esauriscano già in fase di applicazione dei carichi. In fase operativa, durante la formazione dei rilevati, si potrà quindi valutare la necessità di collegare i punti di raccolta ai sistemi di aspirazione già previsti per il trattamento dei terreni profondi al fine di prevenire l'eventuale migrazione di vapori nel sottosuolo.

## 9.5.7. Aspetti geotecnici connessi con gli interventi di MISP

### 9.5.7.1. Inquadramento stratigrafico

Rimandando a quanto documentato al paragrafo n.4.7.4 per i dettagli, ai fini della presente si osserva che il terreno in sito risulta costituito da riporto eterogeneo (pietrisco con calce, laterizi, ciottoli e limo) dello spessore di 1.5m circa, seguito da limo sabbioso fino alla profondità di 3.0m.

Al di sotto del limo sabbioso è presente uno strato di sabbia e ghiaia (da mediamente addensata a molto addensata) fino alla profondità di circa 23.0 m; tra 23.0m e 27.0m è situato uno strato coesivo, duro, di bassa plasticità, composto da alternanza di argilla limosa e limo argilloso, con locale presenza di sabbia limosa. Da 27.0m di profondità fino circa a 50.0m, è presente sabbia limosa, con possibile presenza di ghiaia e locali lenti di limo.

A 50.0m di profondità, fino alla massima profondità indagata (80.0m), viene riscontrata la presenza di conglomerato cementato (Ceppo lombardo), con localizzate presenze di limo sabbioso o altre tessiture non coesive.

Limitandosi alle profondità "significative" ai fini delle analisi di seguito documentate è possibile assumere la seguente stratigrafia di riferimento:

Da p.c. locale a 1.5m: RIPOORTO

Da 1.5m a 3.0m: SABBIA LIMOSA

Oltre 3.0m: SABBIA E GHIAIA

#### 9.5.7.2. Inquadramento geotecnico

Si assume il seguente set di parametri geotecnici "caratteristici" di riferimento:

##### RIPOORTO (\*)

$\gamma$  = peso di volume = 18÷19kN/mc  
 $c'$  = coesione efficace = 0kPa  
 $\phi'$  = angolo d'attrito = 28÷30°  
 $E'$  = modulo elastico = 20÷30MPa  
 $\nu$  = coefficiente di Poisson = 0.30

##### SABBIA LIMOSA (\*)

$\gamma$  = peso di volume = 19÷20kN/mc  
 $c'$  = coesione efficace = 0kPa  
 $\phi'$  = angolo d'attrito = 30÷32°  
 $E'$  = modulo elastico = 20÷30MPa  
 $\nu$  = coefficiente di Poisson = 0.30

##### SABBIA E GHIAIA

$\gamma$  = peso di volume = 19÷20kN/mc  
 $c'$  = coesione efficace = 0kPa  
 $\phi'$  = angolo d'attrito = 36÷40°  
 $E'$  = modulo elastico = 40÷50MPa  
 $\nu$  = coefficiente di Poisson = 0.30

(\*) – In mancanza di indagini geognostiche relative ai livelli più superficiali (riporto e sabbia limosa) sono stati assunti parametri "tipici" e cautelativi sulla base dell'esperienza degli scriventi.

Per quanto concerne invece le caratteristiche dei terreni trattati e stoccati in cumulo si assume cautelativamente quanto segue:

$\gamma$  = peso di volume = 18÷19kN/mc

$c'$  = coesione efficace = 0kPa

$\phi'$  = angolo d'attrito = 26÷28°

### 9.5.7.3. Inquadramento sismico

#### 9.5.7.3.1. Classificazione dell'opera e vita attesa

Ai fini della definizione dell'azione sismica di riferimento, per il magazzino esistente si può considerare una vita nominale (definita con riferimento alla tabella n.36 di cui alla normativa vigente) pari a 50 anni (opera ordinaria).

Opera	Tipo	$V_N$
Parti d'opera provvisionali con $V_N \leq 2$ anni	1	$\leq 2$
Parti d'opera provvisionali con $2\text{anni} < V_N \leq 10$ anni	1	$\leq 10$
<b>Opere ordinarie</b>	<b>2</b>	<b><math>\geq 50</math></b>
Grandi opere	3	$\geq 100$

Tabella 37– Tipo e vita nominale dell'opera (NTC-2018 – tabella 2.4.I)

In relazione alle conseguenze di una interruzione di funzionalità o collasso in caso di sisma l'opera in esame (cfr. tabella n.2.4.II – NTC) è stata, invece, classificata in classe d'uso III cui è associato un coefficiente d'uso ( $C_U$ ) pari a 1.5 (cfr. tabella n.37).

Classe d'uso	I	II	III	IV
$C_U$	0.7	1.0	<b>1.5</b>	2.0

Il periodo di riferimento ( $V_R$ ) dell'evento sismico viene pertanto definito (cfr. paragrafo n.2.4.3 – NTC) come prodotto tra la vita nominale ( $V_N$ ) ed il coefficiente d'uso ( $C_u$ ) ottenendo:

$$V_R = V_N \times C_u = 50 \text{ anni} \times 1.5 = 75 \text{ anni}$$

#### 9.5.7.3.2. Tempo di ritorno dell'evento sismico

Il valore di progetto degli indicatori di pericolosità viene definito in funzione della "probabilità di superamento" in un dato "tempo di ritorno" (tipicamente si considera una soglia di non superamento nel 90% dei casi in 50 anni ovvero una probabilità di superamento del 10% in 50 anni).

E' noto che il "tempo di ritorno" e la "probabilità di superamento" sono due grandezza tra loro correlate come segue:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

dove:

TR = tempo di ritorno

VR = vita di riferimento dell'opera = 75 anni (cfr. paragrafo precedente)

PVR = probabilità di superamento nella vita dell'opera

La probabilità di superamento dipende, a sua volta, dallo stato limite di verifica. Con riferimento alle NTC (tabella n.3.2.I) si definiscono i valori di cui alla tabella n.38:

STATI LIMITE		P <sub>VR</sub>
Stati limite di servizio	SLO (operatività)	81%
	<b>SLD (danno)</b>	<b>63%</b>
Stati limite ultimi	<b>SLV (salvaguardia della vita)</b>	<b>10%</b>
	SLC (collasso)	5%

Tabella 38 – Probabilità di superamento

La scelta dello stato limite di verifica dipende dalla classe d'uso della struttura e dal tipo di verifica. Ai fini della presente si considera come stato limite caratteristico lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV), cui corrisponde un tempo di ritorno pari a:

$$T_R = 9.5V_R = 712 \text{ anni}$$

#### 9.5.7.3.3. Accelerazione massima su suolo roccioso

Il valore di accelerazione orizzontale massima nello specifico sito di interesse va determinato con riferimento ai valori puntuali già definiti per un'apposita griglia (10x10km) da uno studio dell'INGV e riassunti nelle tabelle di cui all'allegato B delle NTC cui si rimanda.

In particolare il valore al sito viene definito mediando (in funzione della distanza) l'entità dell'accelerazione caratteristica dei 4 nodi più prossimi al sito stesso come di seguito indicato (analogo procedimento può essere adottato per gli altri parametri sismici [F0 e T\*C]):

$$a_g = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{a_{g,i}}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

dove:

ag = accelerazione massima suolo tipo A nel sito

ag,i = accelerazione massima suolo tipo A nell'i-esimo punto

di = distanza del sito da i-esimo punto

Qualora, poi, il citato reticolo non riporti il valore di accelerazione per il tempo di ritorno voluto, questo potrà essere ottenuto interpolando i dati relativi ai tempi di ritorno più prossimi come di seguito indicato (analogo procedimento può essere adottato per gli altri parametri sismici [F0 e T\*C]):

$$\log(a_g) = \log(a_{g1}) + \log\left(\frac{a_{g1}}{a_{g2}}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

dove:

ag = accelerazione massima suolo tipo A nel sito per TR

ag1 - ag2 = accelerazione massima suolo tipo A nell'i-esimo relative ai tempi di ritorno più prossimi

TR1 - TR2 = tempi di ritorno più prossimi

Per il sito in oggetto (coordinate geografiche ED50: Lat = 45.54, Long = 10.19) si verifica che allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) vale quanto segue:

ag = 0.170g

F0 = 2.438

T\*C = 0.282

#### 9.5.7.3.4. Effetti di sito – Amplificazione topografica

Per quanto concerne gli effetti di amplificazione dovuti alla topografia del sito si fa riferimento alla tabella n.39 di cui al seguito.

Categoria	Descrizione del pendio	Ubicazione struttura	S <sub>T</sub>
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media superiore a 30°	In corrispondenza della cresta	1.4
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media compresa tra 15 e 30°	In corrispondenza della cresta	1.2

T2	Pendii con inclinazione media superiore a 15°	In corrispondenza della sommità	1.2
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media inferiore a 15°	--	1.0

**Tabella 39 – Coefficiente di amplificazione topografica (NTC-2018 – tabella 3.2.IV)**

Nel caso particolare in esame (terreno pianeggiante) si assume:

$$S_T = 1.0$$

#### 9.5.7.3.5. Effetti di sito – Amplificazione stratigrafica

Gli effetti di amplificazione stratigrafica locale possono essere messi in conto in accordo con la procedura “semplificata” prevista dalla Norma vigente (NTC\_2018) che comporta la stima di un “coefficiente di amplificazione stratigrafica” (SS) da definirsi sulla base dei valori di velocità delle onde di taglio nei primi 30m di terreno dalla quota di imposta delle fondazioni ( $V_{s30}$ ).

Si osserva che la velocità  $V_{s30}$  rappresenta la media delle velocità dei primi 30m di profondità e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove:

$V_i$  = velocità dello strato i-esimo

$h_i$  = spessore dello strato i-esimo

$V_{s30}$  = media delle velocità dei primi 30m di profondità [m]

Allo scopo si fa riferimento ai risultati della prova sismica a rifrazione (allegato 6) dalla quale si evince quanto segue.

$$V_{s30} = 361\text{m/s}$$

Noto il valore della velocità media nei primi 30m si può definire la “categoria di terreno” ed il “coefficiente di amplificazione” con riferimento alla successiva tabella n. 40.

Categoria	Descrizione (tabella 3..2.II NTC-2018)	S <sub>s</sub> (tabella 3.2.IV – NTC-2018)	V <sub>s-eq</sub> (m/s)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800m/s eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3m	1.00	> 800
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 e 800m/s	$1.00 \leq 1.4 - (0.4 \cdot F_o \cdot a_g) \leq 1.20$	360÷800
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con <b>profondità del substrato superiore a 30m</b> caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 e 360m/s	$1.00 \leq 1.7 - (0.6 \cdot F_o \cdot a_g) \leq 1.50$	180÷360
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti con <b>profondità del substrato superiore a 30m</b> caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180m/s	$0.90 \leq 2.4 - (1.5 \cdot F_o \cdot a_g) \leq 1.80$	100÷180
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D con <b>profondità del substrato non superiore a 30m</b> .	$1.00 \leq 2.0 - (1.1 \cdot F_o \cdot a_g) \leq 1.60$	Come C e D

**Tabella 40 – Effetti stratigrafici – Categorie del suolo e parametro S<sub>s</sub>**

Nel caso particolare in esame si verifica che il valore del parametro Vs30 risulta al limite tra le categorie di suolo B e C. A titolo cautelativo si assume:

$$\text{Categoria di sottosuolo C} \rightarrow S_s = 1.7 - (0.6F_o a_g) \cong 1.45$$

#### 9.5.7.3.6. Accelerazione massima al sito

L'accelerazione massima orizzontale al sito (a<sub>max</sub>) è calcolata come prodotto dell'accelerazione al substrato (a<sub>g</sub>) e dei fattori di amplificazione (S<sub>s</sub> ed S<sub>T</sub>). Si ottiene pertanto:

$$a_{max} = a_g \times S = a_g \times S_T \times S_s$$

Da cui:

$$a_{max} = 0.17 \times 1.00 \times 1.45 = 0.247g$$

#### 9.5.7.4. *Analisi del cedimento indotto dai cumuli di materiale*

##### 9.5.7.4.1. *Geometria dei cumuli*

Si fa riferimento alle due situazioni "tipiche" di seguito descritte:

CASO 1, Cumulo di altezza massima: si fa riferimento ad un cumulo di altezza totale pari a 5.20m da p.c. locale (4.00m di materiale incapsulato + 1.20m circa di capping) avente ingombro planimetrico pari a 60x90m (media tra ingombro a terra e ingombro in sommità);

CASO 2, Cumulo di dimensione massima: si fa riferimento ad un cumulo di altezza totale pari a 4.20m da p.c. locale (3.00m di materiale incapsulato + 1.20m circa di capping) avente ingombro planimetrico pari a 75x115m (media tra ingombro a terra e ingombro in sommità).

##### 9.5.7.4.2. *Carichi trasmessi al piano di posa*

Con riferimento ai casi 1 e 2 sopra descritti e considerando un peso di volume del materiale stoccato pari a 19kN/mc si verifica che vale quanto segue:

CASO 1 (h = 5.20m): BxL = 60x90m;  $q \cong 100\text{kPa}$

CASO 2 (h = 4.20m): BxL = 75x115m;  $q \cong 80\text{kPa}$

Dove:

BxL = impronta di carico

q = pressione media al piano di posa

##### 9.5.7.4.3. *Parametri elastici del terreno di fondazione*

Con riferimento alla caratterizzazione geotecnica dei terreni documentata nel paragrafo 4.7.4 si osserva che il terreno naturale in sito è costituito, al di sotto dello strato di riporto di spessore pari a 1.50m circa, da sabbia limosa/limo sabbioso fino a circa 3.0m da p.c. locale, e da sabbia con ghiaia a profondità superiori. Ai fini delle analisi di cedimento di seguito documentate è possibile assumere i seguenti valori dei parametri elastici del terreno in sito (con "z" si indica la profondità dal p.c. locale):

z = 0÷3m      E' = modulo elastico = 20÷30MPa

ν = coefficiente di Poisson = 0.30

γ = peso di volume naturale = 19kN/mc

z > 3m              E' = modulo elastico = 40÷50MPa

ν = coefficiente di Poisson = 0.30

γ = peso di volume naturale = 19kN/mc

#### 9.5.7.4.4. Metodo di calcolo

Il calcolo del cedimento assoluto viene svolto con riferimento alla teoria elastica nell'ipotesi di fondazione isolata "perfettamente flessibile". Sotto tale ipotesi il cedimento assoluto viene calcolato con la seguente procedura:

- Calcolo dello stato tensionale indotto nel terreno supponendo un semispazio elastico-lineare, isotropo ed omogeneo. Per aree di carico nastriformi si fa riferimento a Jumikis, 1971; per aree di carico rettangolari si fa riferimento a Florin, 1959.
- Calcolo del cedimento con riferimento ad un mezzo elastico lineare isotropo ma non omogeneo caratterizzato (per ogni strato iesimo di terreno) dal modulo elastico (E) e dal coefficiente di Poisson (n):

$$s = \sum_i \{ 1/E_i \cdot [D_s'z_i - n \cdot (D_s'x_i + D_s'y_i)] \cdot D_{hi} \}$$

- La "zona di influenza" del carico viene comunque limitata ad una profondità tale per cui vale (UNI ENV 1997-1:1997 e EN1997-1:2003):

$$\Delta\sigma_z / \sigma'_{vo} \geq 0.2$$

Con  $D_{sz}$  pari all'incremento di tensione verticale efficace alla quota considerata dovuto ai carichi indotti.

#### 9.5.7.4.5. Risultati delle analisi

I risultati delle analisi in termini di cedimento assoluto atteso al centro dell'impronta di carico (scentro) ed allo spigolo dell'impronta di carico (sspigolo) sono riportati in tabella n. 41.

CASO	BxL (m)	q (kPa)	Scentro (mm)	Sspigolo (mm)
1	60x90	105	38	8
2	75x115	85	26	6

**Tabella 41: Risultati analisi di cedimento**

Con riferimento ai risultati dell'analisi di cedimento riportate in tabella n.1 è possibile osservare quanto segue:

- L'entità del cedimento assoluto atteso (dell'ordine di 30÷40mm al centro delle impronte di carico e 5÷10mm al bordo dell'impronta di carico) appare del tutto "ammissibile" alla luce della destinazione d'uso prevista per le aree in oggetto (rimodellazione e sistemazione a verde);

- Considerata la natura prevalentemente granulare dei terreni di fondazione è possibile prevedere che i cedimenti saranno sostanzialmente “immediati” e si esauriranno già in fase di applicazione del carico;
- La quota parte di cedimento legata all’assestamento del cumulo stesso potrà essere considerata trascurabile, previa adozione di adeguate modalità di posa e compattazione del materiale, come dettagliato al paragrafo successivo.

#### 9.5.7.4.6. *Modalità di posa dei materiali*

Si riportano di seguito alcune prescrizioni operative per la posa e la compattazione dei materiali.

- La posa in presenza di periodi di gelo, di pioggia o di neve persistente non sarà consentita;
- Il materiale da costipare andrà posato in strati da 30 - 35cm sciolto;
- La compattazione verrà eseguita mediante successive passate di rullo liscio e vibrante (frequenza di vibrazione 1500-1800cicli/minuto) da 10□12tonn;
- La velocità dei rulli non dovrà comunque superare i 4km/h;
- I rulli dovranno operare in piano lungo direzioni parallele garantendo una sovrapposizione fra ciascuna passata e quella adiacente pari almeno al 10% della larghezza del rullo, con numero minimo di passate pari a 8;
- La compattazione dovrà risultare tale da garantire che il valore del modulo ( $M_d$ ) ottenuto mediante prova di carico su piastra da 300mm risulti superiore a 60MPa (primo ciclo tra 150 e 250kPa) e che il rapporto tra il modulo calcolato (sempre nello stesso intervallo) al secondo ed al primo ciclo di carico ( $E_{d2}/E_{d1}$ ) risulti inferiore a 2.5.

#### 9.5.7.5. *Verifica di stabilità delle scarpate*

##### 9.5.7.5.1. *Metodo e codice di calcolo*

Si fa ricorso ad un modello semplificato basato sulla nota teoria dell’equilibrio limite nell’ambito della quale i terreni sono stati caratterizzati mediante un legame costitutivo rigido-plastico con criterio di rottura di Mohr-Coulomb (analisi in termini di sforzi efficaci).

Tale approccio consente di svincolarsi da tutte le complesse problematiche legate all’analisi dello stato deformativo dell’ammasso e di definire un semplice fattore di sicurezza, convenzionalmente valutato come rapporto tra le forze di taglio potenzialmente mobilitabili lungo la superficie di rottura analizzata e le forze di taglio effettivamente mobilitate sotto l’azione delle forze agenti sull’ammasso (pesi propri, carichi esterni, ecc.).

La letteratura tecnica documenta numerosi metodi per il calcolo del fattore di sicurezza; tra di essi si è optato per quello proposto da Bishop (1955) “semplificato” per superfici di rottura di forma circolare.

Nel caso specifico in studio le analisi sono state svolte con l’ausilio del codice di calcolo SLIDE-5.0 (Rocscience).

## 9.5.7.5.2. Criteri di verifica

Si fa riferimento ai paragrafi n.6.8.2 e n.7.11.1 delle NTC. La verifica di stabilità viene svolta considerando i coefficienti parziali sulle azioni ( $\gamma_F$ ), sui parametri geotecnici ( $\gamma_M$ ) e sulle resistenze ( $\gamma_R$ ) di cui alla seguente tabella n.42.

VERIFICA	$\gamma_F$			$\gamma_M$			$\gamma_R$
	Permanenti sfavorevoli		Accidentali sfavorevoli	tan( $\phi'$ )	c'	c <sub>u</sub>	
	Strutturali e permanenti definiti (p.p., spinte terra e acqua)	Permanenti non definiti					
STATICA	1.00	<b>1.30</b>	<b>1.30</b>	<b>1.25</b>	<b>1.25</b>	<b>1.40</b>	<b>1.10</b>
SISMICA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	<b>1.20</b>

Tabella 42: Analisi di stabilità globale – Coefficienti parziali

In particolare si verifica che valga:

$$\tau_m \leq \tau_s / \gamma_R$$

dove:

$\tau_m$  = sforzo di taglio mobilitato (da calcolare con fattori  $\gamma_F$  di cui a tabella n.42)

$\tau_s$  = sforzo di taglio disponibile (da calcolare con fattori  $\gamma_M$  di cui a tabella n.42)

$\gamma_R$  = coefficiente globale sulla resistenza di calcolo

## 9.5.7.5.3. Azione sismica di progetto

Si ricorre ad un approccio di tipo pseudo-statico che consiste nell'aggiungere ai carichi statici di progetto una forza rappresentativa della forza di inerzia prodotta dal passaggio delle onde

sismiche nella massa di terreno. Da un punto di vista operativo si ricorre agli stessi codici impiegati per le analisi statiche con la semplice aggiunta di una forza di volume calcolata come di seguito indicato.

Con riferimento a quanto definito nelle NTC (paragrafo n.7.11.3.5.2 e 7.11.4) l'azione sismica viene messa in conto per mezzo dei seguenti coefficienti di accelerazione:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max}/g$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

dove:

$a_{max}$  = accelerazione massima al suolo =  $S_T \cdot S_s \cdot a_g$

g = accelerazione di gravità

Per quanto riguarda il coefficiente  $\beta_s$  si fa riferimento al §7.11.4 delle NTC che per fronti di scavo e rilevati prevede quanto segue:

$$\beta_s = 0.38 \text{ per analisi SLV}$$

da cui:

$$k_h \cong 0.094$$

$$k_v \cong 0.047$$

#### 9.5.7.5.4. Risultati delle analisi

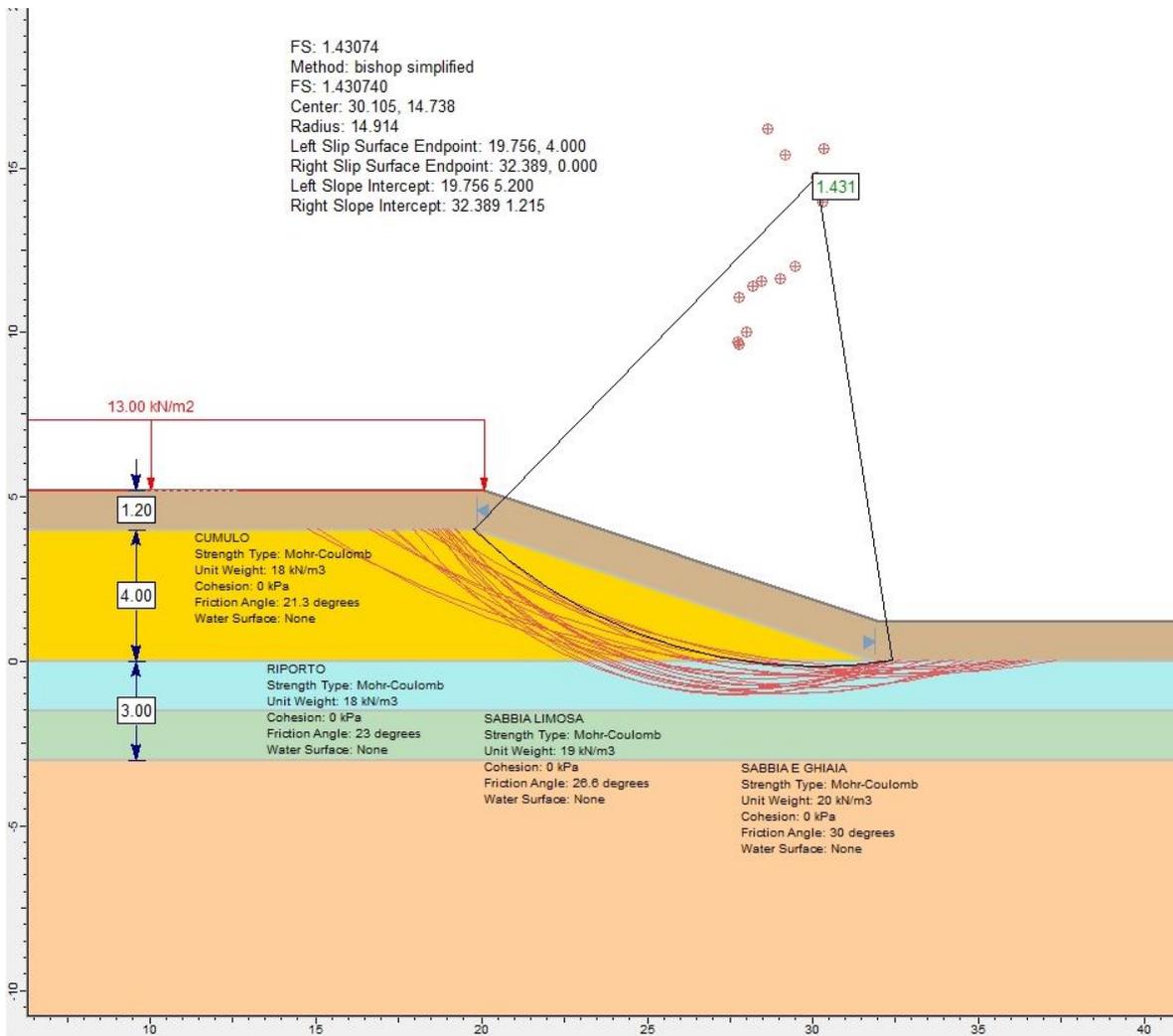
Le analisi di stabilità delle scarpate di scavo sono state condotte in accordo alle seguenti ipotesi:

1. Si considera il cumulo di materiale avente altezza pari a 4.00m da p.c. locale (al netto dello strato di capping superficiale) e pendenza della scarpata pari a 3:1 (orizzontale:verticale);
2. Lo strato di capping superficiale (spessore pari a 1.20m circa) è stato modellato come puro sovraccarico (peso di volume pari a 19kN/mc);
3. L'effetto stabilizzante fornito dalle geomembrane previste in progetto (teli in HDPE, geotessile e geocomposito bentonitico) è stato cautelativamente trascurato;
4. In condizioni statiche si tiene conto di un sovraccarico accidentale uniformemente distribuito in sommità al cumulo pari a 10kPa (valore "caratteristico"). In condizioni sismiche tale sovraccarico viene assunto nullo.

I risultati delle analisi di stabilità delle scarpate sono riassunti in tabella n.43 ed illustrati nelle seguenti figure n.68 (condizioni statiche) e n.69 (condizioni sismiche). Si verifica che in tutti i casi il coefficiente di sicurezza risulta superiore ai valori limite di Norma.

CONDIZIONI	METODO	FS <sub>min</sub>	VERIFICA
Statiche	<i>Bishop con superficie circolare</i>	1.43	FS <sub>min</sub> = 1.43 ≥ 1.10 = γ <sub>R</sub>
Sismiche		1.57	FS <sub>min</sub> = 1.57 ≥ 1.20 = γ <sub>R</sub>

Tabella 43: Analisi di stabilità globale – Risultati



**Figura 68: Verifica di stabilità scarpate – Condizioni statiche**

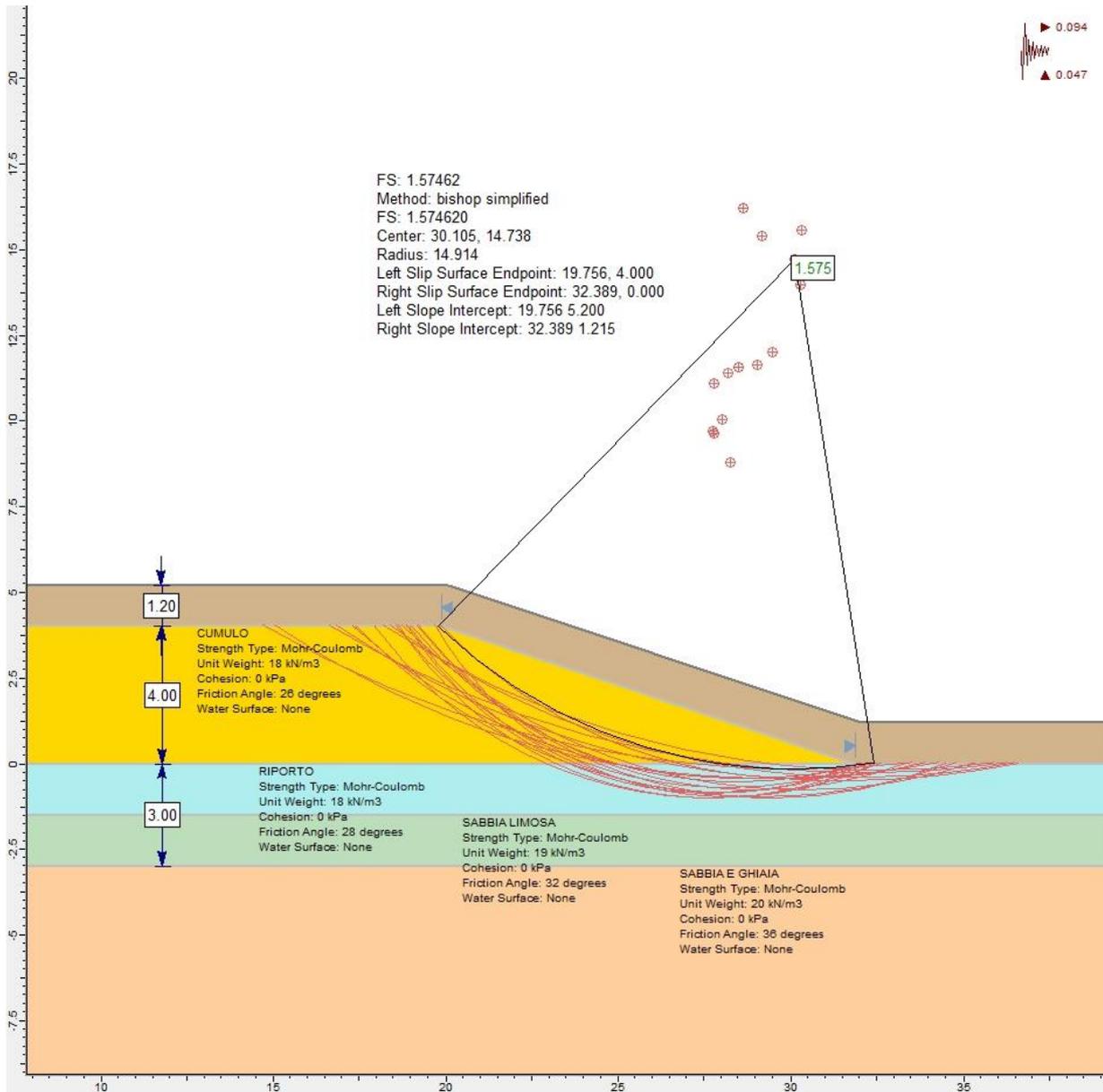


Figura 69: Verifica di stabilità scarpate – Condizioni sismiche

## 9.5.8. Piano di sorveglianza e controllo post operativo

### 9.5.8.1. *Monitoraggio acque superficiali di drenaggio*

Per quanto concerne il monitoraggio delle acque di drenaggio superficiali, saranno eseguiti prelievi delle acque con cadenza semestrale in corrispondenza dei punti di recapito prima dell'ingresso delle acque al bacino di laminazione, al fine di verificarne lo stato qualitativo mediante analisi chimiche.

### 9.5.8.2. *Monitoraggio rete di raccolta condense*

Per quanto riguarda la presenza di eventuali condense all'interno dei cumuli si procederà ad effettuare un monitoraggio con cadenza semestrale mediante controllo visivo dai pozzetti di raccolta installati. Nel caso in cui si verifichi la presenza di condense, si procederà ad effettuare uno spurgo e invio a smaltimento delle stesse.

### 9.5.8.3. *Monitoraggio gas interstiziali - Rete di captazione interna*

Al fine di verificare la concentrazione di composti volatili nei gas captati dalla rete interna ai sistemi di incapsulamento e monitorarne l'evoluzione nel tempo, si prevede di effettuare un monitoraggio dei gas con frequenza semestrale mediante verifica con strumentazione portatile (PID e rilevatore vapori di mercurio) dai terminali della rete di captazione. In caso di rilevamento di concentrazioni significative di composti volatili organici o inorganici si procederà al campionamento dei gas interstiziali mediante fiale per le determinazioni analitiche di laboratorio.

### 9.5.8.4. *Monitoraggio gas interstiziali – Rete di captazione sotto telo*

Nello strato di captazione realizzato inferiormente al capping di fondo si procederà ad effettuare, a seguito del completamento dei sistemi di incapsulamento, una verifica periodica delle condizioni dei gas interstiziali. Il monitoraggio sarà realizzato con frequenza semestrale mediante verifica con strumentazione portatile (PID e rilevatore vapori di mercurio) dai terminali della rete di tubazioni di captazione installati nelle aree adiacenti i cumuli. In caso di rilevamento di concentrazioni significative di vapori organici o inorganici si procederà al campionamento dei gas interstiziali mediante fiale da sottoporre a determinazione analitica di laboratorio.

### 9.5.8.5. *Monitoraggio soil gas – Strato di copertura superficiale*

Con lo scopo di confermare efficacia del sistema di impermeabilizzazione e verificare l'assenza di diffusione di vapori attraverso lo strato impermeabile del sistema di MISP, per le aree oggetto di messa in sicurezza è prevista la realizzazione di campagne di monitoraggio Soil Gas mediante l'installazione di una serie di sonde Nesty Probe nello strato di copertura superficiale fino ad una profondità di circa 80 cm da p.c.

Il campionamento potrà avvenire mediante Canister o Bottle Vac al fine di permettere l'analisi mediante metodiche EPA TO-15 dell'intero spettro di composti volatili (VOC); inoltre si procederà al campionamento mediante fiale apposite, per la determinazione del mercurio volatile. Il monitoraggio verrà eseguito con cadenza trimestrale nel primo anno, semestrale nel secondo anno e successivamente annuale.

In alternativa all'installazione delle sonde Nesty Probe, si potrà valutare il campionamento dei gas nello strato di copertura superficiale tramite l'installazione di Camere di flusso (Flux Chamber) le quali consentono di misurare in maniera precisa esclusivamente il gas proveniente dal sottosuolo, isolandolo da eventuali interferenze atmosferiche.

I risultati delle analisi dei gas saranno confrontati con le concentrazioni soglia di rischio verificate mediante l'analisi di rischio sito specifica e riportati all'interno della tabella A3-3 dell'allegato 3 dell'ADR. I risultati del monitoraggio consentiranno di confermare l'interruzione del percorso di volatilizzazione e l'assenza di rischio per i recettori del sito.

Nel caso in cui dal monitoraggio ambientale dovesse emergere la presenza di gas in concentrazioni prossime alle concentrazioni soglia di rischio, nelle aree potenzialmente critiche, si provvederà ad attivare immediatamente opportune misure di prevenzione mediante collegamento delle reti di captazione gas interne e di fondo a sistemi mobili di recupero e trattamento vapori.

La tabella seguente riassume i controlli previsti per le matrici ambientali ed i presidi di monitoraggio installati nelle aree oggetto di MISP.

	<b>Parametro</b>	<b>Frequenza misure gestione post-operativa</b>
<i>Acque superficiali di drenaggio</i>	Analisi chimiche	Semestrale
<i>Soil Gas</i> <i>Rete superficiale</i>	Analisi chimiche	Trimestrale (1° anno) Semestrale (2° anno) Annuale (dal 3° anno)
<i>Rete di raccolta condense</i>	Presenza e Volume	Semestrale
<i>Rete di captazione gas interna</i>	Concentrazione sostanze volatili (PID e rilevatore Hg)	Semestrale
<i>Rete di captazione gas sotto telo</i>	Concentrazione sostanze volatili (PID e rilevatore Hg)	Semestrale

**Tabella 44: Piano dei controlli post operam**

## 10. DESCRIZIONE DETTAGLIATA DELLA SOLUZIONE – INTERVENTI SUI TERRENI PROFONDI

### 10.1. Soil Replacement

Gli interventi di Soil Replacement saranno finalizzati alla sostituzione del terreno contaminato fino alla massima profondità di scavo (29-30m), al fine di rimuovere le sorgenti secondarie riscontrate nei terreni e ridurre drasticamente la massa di contaminazione presente.

In considerazione dei costi elevati della tecnologia, tale tipologia di intervento si prospetta come economicamente sostenibile per la bonifica delle porzioni di sottosuolo che hanno evidenziato concentrazioni molto elevate di contaminanti sostanzialmente lungo tutta la verticale di indagine. L'intervento avrà pertanto come obiettivo primario la rimozione di una massa significativa dei contaminanti associata ai principali nuclei di contaminazione riscontrati in sito.

Sulla base delle conoscenze attuali si prevede pertanto l'applicazione della tecnologia di Soil Replacement per le seguenti aree (Tav. 5):

- area individuata dai punti di indagine C26c, C26e ed MW7, in corrispondenza della quale è stata riscontrata una contaminazione significativa da PCB, sull'intera verticale di indagine, per una superficie di intervento valutata in circa 200 m<sup>2</sup> fino ad una profondità massima di 28-30 m;
- area individuata dal punto di indagine C27, in corrispondenza della quale è stata riscontrata una contaminazione da Clorobenzeni e PCB lungo l'intera verticale di indagine, per una superficie di intervento stimata in circa 50 m<sup>2</sup> fino ad una profondità massima di 28-30 m;
- area individuata dal punto di indagine C34, in corrispondenza del quale è stata riscontrata una contaminazione significativa da As, sull'intera verticale di indagine, per una superficie di intervento stimata in circa 50 m<sup>2</sup> fino ad una profondità massima di 28-30 m;
- inoltre, sarà prevista l'applicazione di tale tipologia di intervento in corrispondenza di sorgenti secondarie di contaminazione da mercurio e cromo esavalente che si ipotizza possano essere riscontrate nella porzione centrale del sito, nelle vicinanze del piezometro PZ10.

Le aree di intervento saranno meglio definite in fase esecutiva a seguito della demolizione delle strutture che consentirà di portare alla luce le condizioni del sottosuolo e dell'esecuzione delle indagini di remedial investigation che consentiranno di verificare la distribuzione e le concentrazioni dei contaminanti in corrispondenza delle zone di interesse.

Nel caso in cui i risultati delle indagini integrative dovessero evidenziare ulteriori sorgenti secondarie nei terreni con le medesime caratteristiche (continuità lungo la verticale), si potranno infatti definire ulteriori aree di intervento di Soil Replacement.

Per l'esecuzione degli interventi è prevista la realizzazione di perforazioni di diametro minimo di 1.000 mm, con una deviazione operativa, di costruzione, dalla verticale di ogni perforazione dello 0,5%. Dovranno essere quindi adottati interassi, in funzione della profondità, tali da garantire sempre la perfetta sovrapposizione delle perforazioni.

Per tale tipo di applicazione si prevede l'utilizzo di macchine perforatrici idrauliche rotanti di classe 100 o 125 ton dotate di "kelly bar". La trivellazione all'interno del rivestimento sarà eseguita passo-passo con "procedura Kelly", cioè mediante una barra telescopica per la trasmissione meccanica allo strumento di perforazione.

La tipologia di macchina perforatrice, il diametro dei fori ed il programma di esecuzione saranno definiti in dettaglio a seguito di approfondimenti in fase di progettazione esecutiva e dell'esecuzione di specifici campi prova.

Dopo l'estrazione del terreno contaminato presente all'interno del tubo forma sarà eseguito il riempimento con terreno conforme e di caratteristiche idonee, ciò in rapporto anche alla granulometria naturale dei terreni in posto, con graduale recupero del tubo forma stesso. Le operazioni di riempimento saranno effettuate con l'ausilio di una pala gommata e di una tramoggia da installare sulla bocca del tubo di rivestimento.

Per l'esecuzione dell'intervento si stima una produzione oraria di circa 2–3 m/h per gruppo di lavoro; per soddisfare le esigenze programmatiche si potrà valutare l'impiego di più gruppi di lavoro operanti in contemporanea e/o di operare su più turni.

I terreni estratti saranno direttamente caricati su mezzi gommati e trasportati nelle aree di accumulo A1/A5 (cfr paragrafo 9.1). Il riempimento degli stessi avverrà con materiale conforme: potrà essere utilizzato il terreno estratto in sito risultato conforme al riutilizzo, oppure materiale esterno certificato. Una volta completato il riempimento e rimosso il rivestimento, si procederà ad eseguire il foro successivo.

Sulla base delle assunzioni fatte, si stima la rimozione di un quantitativo complessivo pari a circa 8.000-10.000 m<sup>3</sup> di terreni contaminati che saranno successivamente recapitati all'area di accumulo per il successivo invio a incapsulamento o lavaggio ai fini del recupero.

## 10.2. In Situ Soil Stabilization

L'intervento di In Situ Soil Stabilization prevede l'introduzione all'interno del terreno contaminato di opportuni reagenti inorganici (come cemento/silicati, calce e argilla) al fine di diminuire la mobilità dei contaminanti, attraverso meccanismi di stabilizzazione e/o solidificazione.

Tale tecnologia applicata direttamente in-situ (senza asportare il terreno contaminato) comporta l'utilizzo di macchine perforatrici in grado dapprima di smuovere il terreno e poi iniettare la miscela inertizzante miscelandola nelle giuste proporzioni con il suolo contaminato.

L'intervento di stabilizzazione/solidificazione sarà finalizzato alla messa in sicurezza dei terreni profondi caratterizzati da una contaminazione significativa ed estesa lungo alcune porzioni della verticale, che presentano limitazioni al trattamento mediante tecnologie classiche di risanamento in situ e non sono rimovibili con la tecnologia del Soil Replacement in modo cost-effective.

Il trattamento di stabilizzazione consente una riduzione della mobilità dei contaminanti attraverso i seguenti fenomeni:

- riduzione della superficie esposta al contatto con acque di percolazione e della permeabilità complessiva del materiale contaminato;
- formazione di legami tra i contaminanti ed i reagenti impiegati nel trattamento;
- riduzione della solubilità dei contaminanti a seguito della formazione di precipitati.

Per la definizione della tipologia di legante e delle caratteristiche della miscela è prevista l'esecuzione di opportune prove di trattabilità in laboratorio (cfr. paragrafo 13.2).

Sulla base dei numerosi casi studio disponibili in letteratura, per il trattamento della contaminazione riscontrata a carico dei terreni in oggetto si considera idoneo l'utilizzo di una miscela a base di cemento Portland (eventualmente abbinato a diversi additivi); tale tipologia di legante consente infatti di ottenere un'efficace immobilizzazione dei contaminanti utilizzando consolidate tecniche del settore delle costruzioni.

Nel caso specifico la stabilizzazione della matrice contaminata con miscela a base di cemento Portland è basata su processi di:

- incapsulamento e immobilizzazione di PCB e contaminanti organici nella miscela di cemento;
- conversione dei metalli pesanti a composti insolubili e incapsulamento nel cemento.

La tecnologia proposta consentirà la disgregazione, miscelazione e rioccupazione dei vuoti del terreno mediante un getto fluido costituito da una miscela cementizia e si compone delle fasi operative nel seguito descritte:

- perforazione, eseguita a rotazione con una batteria di aste, dotata al piede di un raccordo portaugelli (monitor) e di un utensile tagliente. Il fluido di perforazione è costituito da una miscela cementizia che deve garantire la stabilità del foro in tutte le fasi della lavorazione; per l'attraversamento di eventuali strutture in muratura o calcestruzzo si impiegano appositi utensili di pre-perforazione;
- raggiunta la quota di progetto, viene dato avvio alla fase di taglio ed erosione del terreno circostante il foro, dando pressione al fluido di taglio in modo che questo fuoriesca dall'ugello con un getto ad alta energia; l'esecuzione dell'intervento procede da fondo foro in risalita e produce il refluento a bocca foro del volume eccedente di acqua-terreno-miscela cementizia;
- contemporaneamente al getto di taglio viene pompata miscela cementizia sotto pressione che si mescola e si omogeneizza con il terreno tagliato e rimescolato. La stabilità della colonna, fino al definitivo indurimento del legante, viene garantita grazie alla densità maggiore rispetto al terreno circostante.

I parametri operativi per l'intervento saranno definiti nel dettaglio mediante la realizzazione di un opportuno campo prova costituito da una o 2 terne di colonne, al fine di tarare i principali parametri di iniezione e la resistenza del terreno consolidato.

Sulla base delle assunzioni fatte, si stima la produzione di terreno-miscela di risulta pari a circa il 60-70% del volume di terreno da trattare, che verrà successivamente destinata all'incapsulamento in sito; i terreni-miscela estratti saranno quindi direttamente caricati su mezzi gommati e trasportati nelle area di accumulo A5 (cfr paragrafo 9.1).

La tecnologia di Soil Stabilization sarà applicata per l'inertizzazione dei terreni insaturi profondi contaminati lungo l'intero spessore di potenziale oscillazione della falda (a profondità comprese tra 20 e 30 m circa). Nello specifico si prevede di intervenire sulle seguenti sorgenti (Tav. 5):

- sulla residua sorgente secondaria di PCB, Clorobenzeni e Diossine presente nell'intorno dell'area oggetto di Soil Replacement, prevalentemente in corrispondenza dei poligoni C26e-C26c, attraverso l'esecuzione di una serie di perforazioni (circa una per m<sup>2</sup>) su un'area di circa 500 m<sup>2</sup>, con uno spessore medio di inertizzazione pari a circa 8-10 m;

- sulla residua sorgente secondaria di PCB, Clorobenzeni e Diossine presente nell'intorno dell'area oggetto di Soil Replacement, in corrispondenza del poligono C27, su un'area di circa 100 m<sup>2</sup>, con uno spessore medio di inertizzazione pari a circa 8-10 m.
- sulla residua sorgente secondaria di As presente nell'intorno dell'area oggetto di Soil Replacement, in corrispondenza del poligono C34, su un'area di circa 100 m<sup>2</sup>, con uno spessore medio di inertizzazione pari a circa 8-10 m.

L'estensione effettiva delle aree di trattamento e gli spessori di intervento saranno verificati a seguito degli interventi di demolizione e delle indagini di remedial investigation che consentiranno di definire la distribuzione e la concentrazione dei contaminanti in corrispondenza delle zone di interesse. La tecnologia (jet-grouting) potrà essere anche utilizzata, se necessario, per una efficace azione di ossidazione, descritta in seguito, al fine di integrare l'azione di ossidazione dei contaminanti presenti con l'azione di stabilizzazione in sito delle frazioni residue.

Ulteriori zone di intervento potranno essere previste in corrispondenza di sorgenti secondarie profonde successivamente identificate (con riferimento ad esempio a sorgenti di mercurio e di cromo esavalente che si prevede possano essere ubicate nella porzione centrale del sito).

### **10.3. Interventi di bonifica in situ - Ossidazione chimica**

Per la porzione residua di terreni profondi non interessata dagli interventi di Soil Replacement e di Soil Stabilization si prevede di mettere in atto interventi di risanamento basati su tecnologie in situ (principalmente Chemical Oxidation e Soil Flushing).

Tali interventi di bonifica saranno finalizzati in particolare al trattamento dei livelli più profondi, in corrispondenza della zona di frangia capillare, nelle aree che potrebbero presentare maggiori criticità in relazione ai fenomeni di lisciviazione e dilavamento, principalmente all'intorno delle aree oggetto delle due tecnologie sopra descritte, Soil Replacement e In Situ Soil Stabilization.

L'applicazione della tecnologia ISCO sarà indirizzata in particolare al trattamento della porzione di sottosuolo contaminata da composti organici persistenti (PCB, Clorobenzeni, Diossine) ubicata in corrispondenza dei poligoni C26c-C26e e del poligono C27.

Considerate le caratteristiche recalcitranti dei contaminanti in oggetto, prima dell'applicazione full scale della tecnologia sarà realizzata una fase di laboratorio (bench scale) e di test pilota in situ per definirne i parametri di dimensionamento.

Sulla base delle attuali conoscenze sono previste le seguenti aree di intervento (Tav. 5):

- in corrispondenza dei poligoni C26c-C26e, nelle zone non interezate da Soil Replacement e Soil Stabilization, per una superficie di intervento stimata in circa 1000 mq, a profondità comprese tra 23 e 29 m circa.
- in corrispondenza del poligono C27, per una superficie di trattamento stimata in circa 2000 mq, a profondità comprese tra 23 e 25 m circa.

L'estensione delle aree di intervento ed i volumi di terreno da trattare saranno verificati in base ai risultati delle indagini previste successivamente alle operazioni di demolizione.

## 10.3.1. Definizione del processo

Le modalità applicative e la tipologia di ossidanti saranno meglio definite alla luce dei risultati dei test di trattabilità in laboratorio e delle prove pilota da realizzare in situ. Tuttavia, in considerazione della tipologia di contaminazione riscontrata, si ritiene in questa fase di prendere primariamente in considerazione trattamenti di ossidazione avanzata con ozono.

L'ozono è uno dei più forti ossidanti disponibili ed è maggiormente solubile in acqua rispetto all'ossigeno. Per i processi ISCO viene prodotto in situ utilizzando generatori di ozono a partire da un flusso di aria o di ossigeno; i generatori in commercio producono generalmente ozono in un intervallo compreso tra il 2-10% in peso.

I meccanismi di reazione prodotti dall'applicazione dell'ozono sono di due tipi: ossidazione diretta per contatto della molecola sul contaminante e ossidazione per via indiretta a seguito della produzione di radicali ossidrilici OH (caratterizzati da elevato potere ossidante ma breve vita).

La dissoluzione di ozono in soluzione acquosa favorisce la formazione di radicali ossidrilici; tuttavia l'elevata reattività riduce l'emivita dell'ozono in soluzione a circa 20 minuti (soluzione pH 7 a 20 °C).

L'eventuale applicazione combinata di perossido di idrogeno e ozono comporta la generazione di elevati livelli di radicali ossidrilici ed è considerata come una delle più aggressive forme di tecnologie di ossidazione chimica in situ.

L'intervento di bonifica in situ sarà realizzato mediante iniezione di ozono disciolto in fase acquosa (eventualmente combinata con l'applicazione di H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) attraverso una rete di pozzi di iniezione appositamente realizzati e/o mediante iniezione diretta nel sottosuolo mediante l'utilizzo di macchinari per il jet-grouting.

Il trattamento sarà primariamente finalizzato alla degradazione dei contaminanti organici prevalentemente adsorbiti alle frazioni fini di sottosuolo in corrispondenza della zona di oscillazione della falda, prevalentemente PCB nel caso in oggetto.

L'intervento di ossidazione potrà inoltre favorire un desorbimento dei contaminanti aumentando il trasferimento di massa verso la fase acquosa attraverso l'ossidazione della materia organica e la variazione dell'equilibrio fase tra la fase adsorbita e la fase dissolta: i contaminanti eventualmente dissolti nelle acque sotterranee saranno rimossi e trattati attraverso i sistemi di emungimento e trattamento delle acque installati.

Nei processi di ossidazione con ozono la domanda di ossidante è di complessa determinazione a causa delle reazioni tra O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O e radicali OH.

La domanda totale di ossidante comprende sia la domanda dovuta ai contaminanti presenti nel suolo che alla domanda naturale di ossidanti legata alla presenza di specie inorganiche in forma ridotta e di materia organica naturale. La domanda naturale di ossidante (NOD) sito specifica sarà in ogni caso determinata mediante apposite prove di laboratorio per diverse tipologie di ossidante; ai fini di un dimensionamento preliminare degli interventi si assume in questa fase un valore cautelativo pari a 2 g di ossidante per kg di suolo.

Per l'area di trattamento relativa ai poligoni C26c-C26e, considerando una concentrazione massima residua di PCB pari a circa 100 mg/kg ed un rapporto di massa ossidante / contaminante tipico di una

contaminazione organica di circa 1:8, si stima una richiesta iniziale di ozono pari a circa 3 g per kg di suolo da trattare.

Per l'area di trattamento relativa al poligono C27, considerando una concentrazione media di PCB pari a 6 mg/kg si stima una richiesta iniziale di ozono pari a circa 2 g per kg di suolo da trattare.

In base ai risultati dei test di laboratorio e delle prove pilota che saranno effettuate in sito si valuterà l'opportunità di combinare l'applicazione di ozono con la co-iniezione di H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> o di surfattanti per massimizzare l'efficacia complessiva del trattamento.

### 10.3.2. Descrizione dell'intervento

L'intervento sarà indirizzato alla rimozione della contaminazione in corrispondenza dei poligoni C26c, C26e e C27. Come indicato in precedenza si specifica che parte della sorgente secondaria localizzata nelle aree dei sondaggi C26c, C26e sarà preliminarmente rimossa mediante la tecnica di Soil Replacement o immobilizzata mediante Soil Stabilization (particolarmente in corrispondenza delle aree ove sono stati riscontrati i maggiori livelli di contaminazione e spessori di contaminazione più importanti).

Per l'applicazione dell'intervento si procederà ad installare in sito una griglia di pozzi di iniezione di diametro 2", realizzati in acciaio inox con spaziatura non superiore a 3 m (da verificare in base agli esiti delle prove pilota in sito) e fenestrati in corrispondenza degli spessori di trattamento individuati in fase di caratterizzazione pregressa e di remedial investigation ancora da realizzare.

In linea generale l'intervallo di trattamento previsto sarà compreso tra 23 e 29 m da p.c. Al fine di consentire una distribuzione quanto più omogenea della soluzione ed evitare la formazione di vie preferenziali, ciascun pozzo di iniezione sarà fessurato per una lunghezza non superiore a 3 m.

L'impianto di trattamento sarà costituito dai seguenti elementi principali:

- Quadro di comando;
- Generatore di ozono;
- Sistema di dissoluzione pompa/eiettore;
- Serbatoio di contatto acqua ozono;
- Sistema di abbattimento ozono gassoso;
- Strumentazione di misura (portata e pressione) e valvole di regolazione;
- Pompe di mandata della soluzione;
- Linee di collettamento ai pozzi di iniezione.

Per la produzione di ozono si ipotizza di utilizzare un impianto con alimentazione da aria, con capacità di circa 1 KgO<sub>3</sub>/h. La potenza installata per tale impianto è stimata pari a circa 22 kW; il consumo di acqua è stimato in circa 5 mc/h.

## 10.4. Interventi di bonifica in situ - Soil Flushing

Per il trattamento della principale sorgente di As riscontrata in corrispondenza del punto di indagine C34 (confermata dai risultati relativi al sondaggio MW5), caratterizzata da una contaminazione estesa su tutta la verticale fino alla zona di frangia capillare, si prevede di intervenire (per la zona non interessata dagli interventi di Soil Replacement e Stabilization) mediante la tecnologia di Soil Flushing.

La tecnologia in oggetto prevede il trattamento del suolo contaminato, attraverso un'azione di lavaggio a mezzo di un fluido immesso nel sottosuolo al fine di favorire la solubilizzazione e la successiva estrazione dei contaminanti in modo da ridurre significativamente il rischio di lisciviazione dei contaminanti dai suoli.

Per tale area di intervento, in considerazione dell'estensione della sorgente stimata mediante poligoni di Thiessen, si prevede una superficie di intervento di circa 2000 mq. L'area di intervento e gli spessori interessati saranno verificati in base ai risultati delle indagini integrative previste a seguito del completamento delle operazioni di demolizione nell'area di interesse.

L'intervento di Soil Flushing potrà inoltre essere applicato per il trattamento di sorgenti secondarie di contaminanti inorganici (mercurio e cromo esavalente) che si ipotizza possano essere ubicate nella porzione centrale del sito.

### 10.4.1. Definizione del processo

In considerazione della tipologia della contaminazione riscontrata e dei test sugli eluati già effettuati, per il trattamento di lavaggio dei suoli si prevede di utilizzare preferibilmente le stesse acque di falda estratte attraverso i sistemi di emungimento e trattate mediante sistemi in situ.

Dopo il passaggio attraverso la zona contaminata il fluido di lavaggio arricchito di contaminanti sarà estratto ed inviato a smaltimento o trattamento per riutilizzo / reiniezione.

Le caratteristiche del fluido di lavaggio e l'eventuale necessità di additivi saranno comunque valutati sulla base di appositi campi prova in situ. I risultati delle prove consentiranno inoltre di stimare il numero di cicli di lavaggio da applicare al terreno ed i parametri idraulici di dimensionamento.

### 10.4.2. Descrizione dell'intervento

Per l'applicazione dell'intervento si prevede di installare in sito una rete di pozzi di iniezione di diametro 4", realizzati in PVC, con spaziatura non superiore a 3 m (da verificare in base agli esiti delle prove pilota in situ) e fenestrati a partire da 1 m al di sopra dell'intervallo di trattamento individuato fino al bottom dello stesso. In linea generale l'intervallo di trattamento previsto sarà compreso tra 20 e 28 m da p.c.

In presenza di livelli di terreno più fini o di discontinuità litologiche gli intervalli di trattamento dovranno essere adeguatamente ridotti al fine di garantire una distribuzione quanto più uniforme della soluzione di lavaggio.

Il sistema di trattamento sarà costituito dai seguenti elementi principali:

- Quadro di comando;
- Serbatoio acque di lavaggio;
- Stazione dosaggio additivo (opzionale);

- Stazione di pompaggio;
- Strumentazione di misura (portata e pressione), valvole manuali a sfera, valvole di non ritorno;
- Linee di collettamento ai pozzi di iniezione.

La potenza installata asservita a tale impianto è prevista pari a circa 10 kW.

I contaminanti rimossi dal suolo saranno quindi estratti attraverso la rete di pozzi installata (specificatamente attraverso il pozzo P4 ubicato immediatamente a valle dell'area di intervento) e trattati mediante gli appositi sistemi di trattamento acque in sito. Le acque potranno quindi essere riciclate al sistema di lavaggio dopo il trattamento di depurazione.

## **10.5. Interventi di bonifica in situ – Soil Vapour Extraction**

I risultati del monitoraggio delle acque di falda effettuato nell'ambito delle indagini propedeutiche alla progettazione hanno confermato, per alcuni solventi clorurati, una probabile presenza di sorgenti secondarie minori, interne al Sito. In particolare sono state evidenziate nelle acque di falda concentrazioni significative di triclorometano (cloroformio) e tetracloruro di carbonio rispettivamente in corrispondenza delle aree identificate dai piezometri PZ5-PZ10 e dai piezometri MW6-MW7.

Come descritto ai paragrafi precedenti tali aree saranno oggetto di intervento di bonifica per la presenza contestuale dei principali contaminanti indice della contaminazione del Sito. Tuttavia, laddove fossero riscontrate concentrazioni significative di solventi nei terreni insaturi, considerate le caratteristiche di elevata volatilità dei contaminanti e l'elevata permeabilità dei terreni, si prevede la possibilità di integrare gli interventi di bonifica già descritti, con azioni locali di ventilazione del sottosuolo (Soil Vapour Extraction).

Tali azioni saranno finalizzate al trattamento delle sorgenti residuali di contaminazione attraverso la rimozione dei composti clorurati dispersi nei terreni insaturi, anche profondi, fino al livello della frangia capillare (ca. 30 m da p.c.), interrompendone la migrazione verso la zona satura e favorendo il raggiungimento degli obiettivi di risanamento delle acque di falda.

In considerazione dell'elevato spessore di insaturo potenzialmente coinvolto si prevede l'installazione di pozzi di estrazione anche a diverse profondità, per il trattamento di "colonne" di terreno impattato e/o di orizzonti specifici di sottosuolo, in funzione delle necessità riscontrate.

L'aria estratta (gas interstiziali) dal sottosuolo, arricchita dei composti organici volatili, sarà trattata tramite un'unità di filtrazione a carboni attivi posta a valle del sistema di aspirazione.

La definizione di dettaglio degli interventi sarà realizzata previa una miglior localizzazione delle sorgenti residue attraverso specifici test pilota di venting, finalizzati alla verifica della presenza delle frazioni volatili nel sottosuolo ed al dimensionamento dei relativi sistemi di estrazione e trattamento.

## 11. FASI ATTUATIVE

Al fine di intervenire prioritariamente nelle aree maggiormente impattate e di consentire lo svincolo di alcune aree, si prevede di realizzare gli interventi descritti nel presente POB per fasi successive, corrispondenti a tre distinti Lotti:

- Lotto "Via Milano"
- Lotto "Funzionale"
- Lotto "di Completamento"

Il **Lotto Via Milano** comprende le aree interessate dal progetto "Oltre la strada. Via Milano 2021", e in corrispondenza del quale si interverrà primariamente (anche mediante specifico stralcio), al fine di consentire la realizzazione degli interventi di riqualificazione urbanistica che prevedono per circa 3.000 m<sup>2</sup> dell'area ex-Caffaro, la creazione di uno spazio pubblico di fruizione e di sosta, complementare al più esteso progetto di riqualificazione dell'asse stradale (cfr. "Programma straordinario di intervento per la riqualificazione urbana e la sicurezza delle periferie", tavole in All. 7). Esso è perimetralmente incluso all'interno del **Lotto Funzionale** (Tav. 3) e gli interventi di risanamento prevedono il completamento di una prima porzione di capping/incapsulamento e ricopertura con modellazione e piantumazione, per consentire la restituzione agli usi legittimi delle delle aree adiacenti Via Milano e Via Villa Glori.

Nel **Lotto "Funzionale"** ricadono le porzioni del sito individuate come maggiormente impattate e che possono rappresentare le aree dalle quali la contaminazione presente nei terreni insaturi superficiali e profondi si è principalmente diffusa nelle acque di falda.

Nell'ambito del Lotto Funzionale si prevede di effettuare i seguenti interventi:

- Attivazione delle operazioni di smantellamento e demolizione su almeno il 40-50 % dell'area dello stabilimento;
- Esecuzione degli interventi di rimozione delle principali sorgenti di contaminazione riscontrate nei terreni da superficiali a profondi mediante Soil replacement;
- Esecuzione degli interventi di messa in sicurezza e bonifica in situ dei terreni profondi mediante Soil Stabilization, Chemical Oxidation, Soil Flushing;
- Esecuzione di una prima porzione di scavo differenziale e rinterro (svincolo area a destinazione commerciale-industriale);
- Installazione dell'impianto di Soil Washing ed avvio delle operazioni di lavaggio terreni;
- Avvio delle operazioni di incapsulamento delle frazioni fini e dei fanghi di lavaggio ed esecuzione ricopertura con modellazione e piantumazione per una prima porzione dell'area oggetto di messa in sicurezza;
- Prosecuzione ed ottimizzazione degli interventi di messa in sicurezza della falda.

In una fase successiva, completati gli interventi relativi al Lotto "Via Milano" ed al più ampio Lotto "Funzionale", si procederà all'esecuzione degli interventi analogamente previsti per il **Lotto "di Completamento"**, in cui ricadono le restanti aree dello Stabilimento.

La suddivisione dei Lotti di intervento è riportata in Tav. 3. Nel seguito si descrivono in ordine cronologico di esecuzione gli interventi previsti per ciascun Lotto.

## 11.1. Lotto “Via Milano”

Il primo lotto di esecuzione degli interventi di bonifica è il Lotto “Via Milano”, il quale comprende le aree previste dal progetto “Oltre la strada. via Milano 2021”.

In tali aree gli interventi interesseranno esclusivamente la porzione superficiale del sottosuolo. In particolare la strategia di intervento individuata prevede la rimozione diretta dei terreni contaminati da destinare successivamente al trattamento di Soil-Washing.

L’area oggetto dell’intervento di bonifica presenta un ingombro planimetrico pari a circa 2’700 mq ed è identificata in direzione Nord, Est ed Ovest dal muro perimetrale lungo via Milano e da edifici esistenti, mentre in direzione Sud il limite dell’area di intervento è stato definito in modo tale da garantire l’accesso ai locali ed agli edifici attualmente in esercizio all’interno dello stabilimento *Caffaro*.

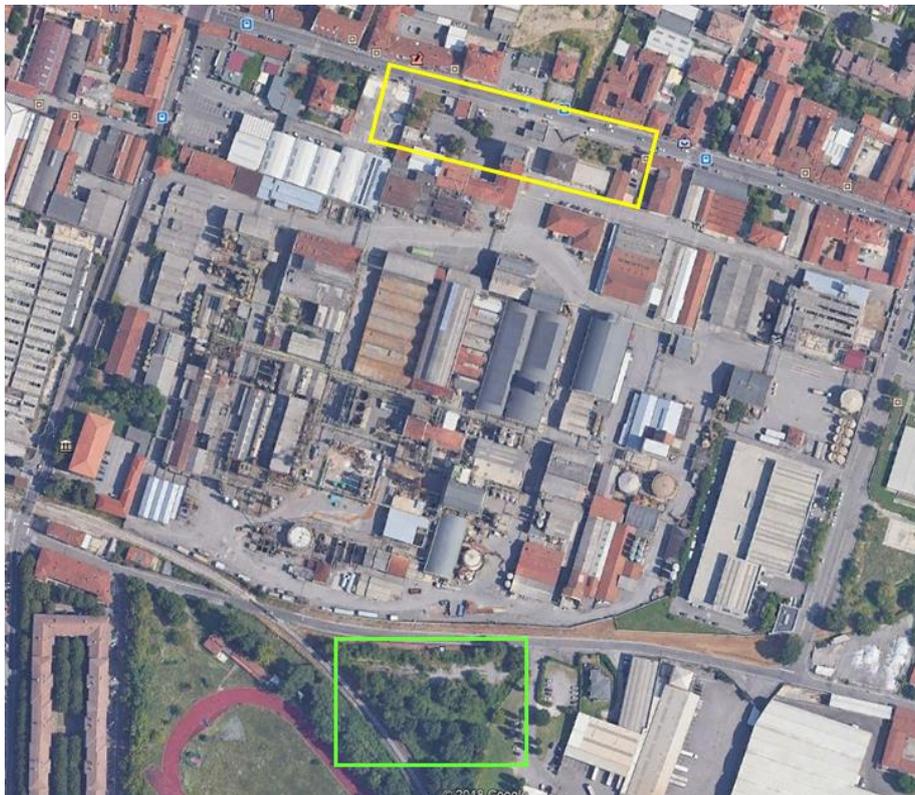


Figura 69: Ubicazione area d’intervento e area di stoccaggio per lotto Via Milano

### 11.1.1. Predisposizione area di stoccaggio

Preliminarmente alle attività di scavo dovrà essere realizzata l’area di stoccaggio per lo stoccaggio e l’accumulo del materiale proveniente dagli scavi di bonifica del “Lotto Via Milano”, da destinare in una fase successiva al trattamento di Soil Washing o incapsulamento diretto in sito secondo le modalità descritte al paragrafo 9.1.



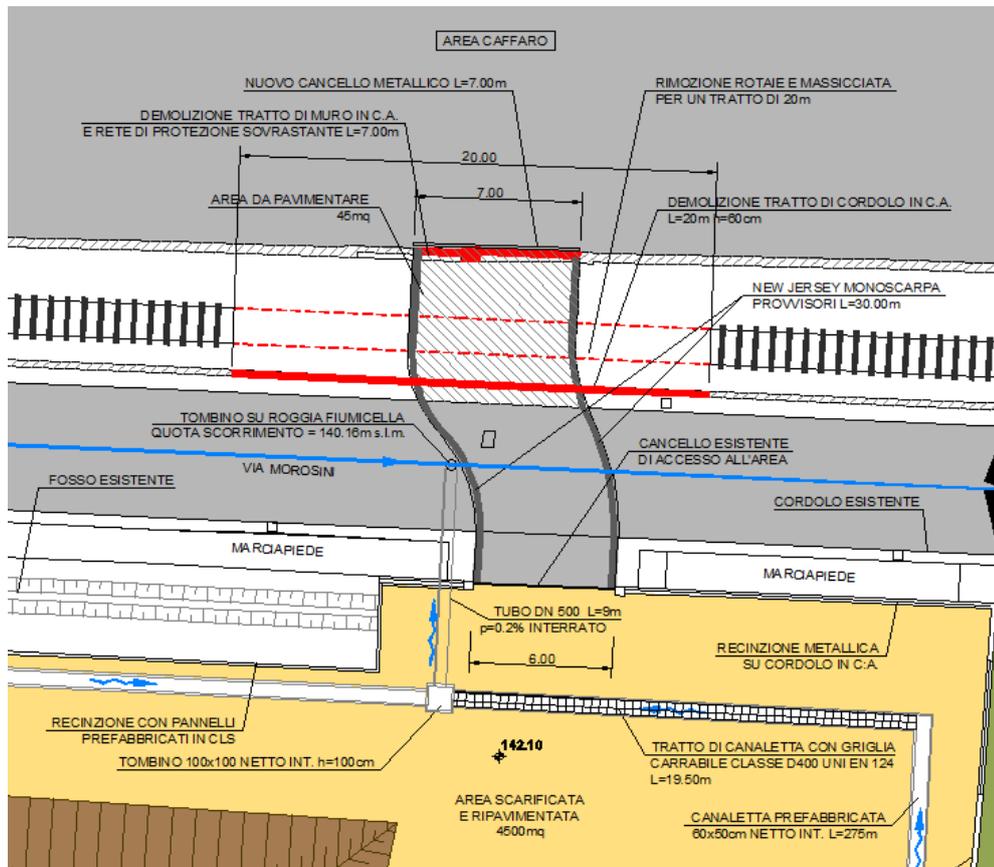


Figura 71: Piazzale di stoccaggio – Realizzazione pista di accesso da area “Caffaro”

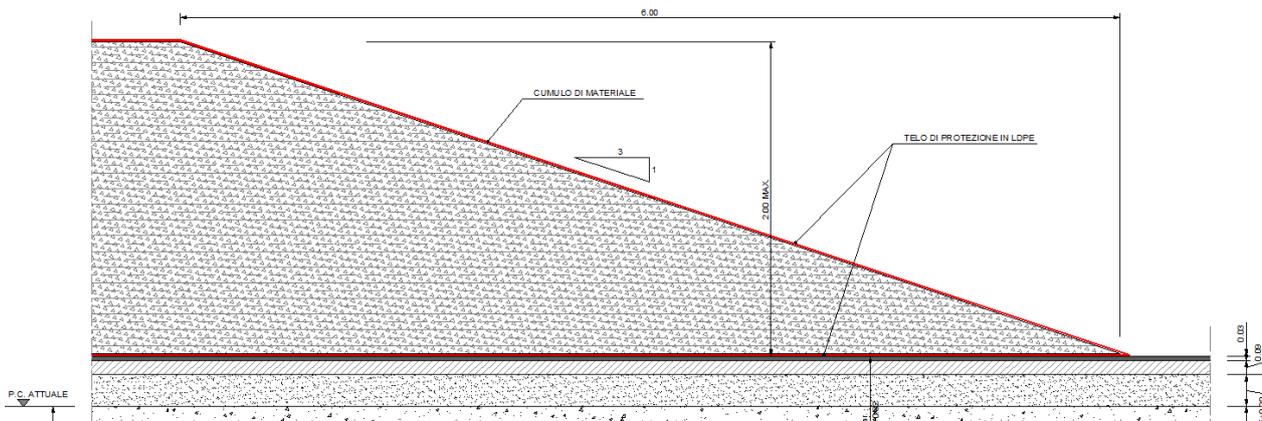
### 11.1.2. Escavazione e ritombamenti

A seguito dell'escavazione i terreni saranno inviati all'area di accumulo in attesa della realizzazione dell'impianto di Soil Washing. Le aree di intervento e le profondità di scavo previste sono riportate in Tav. 4.

Il ritombamento delle aree avverrà con materiale certificato esterno, e/o, verificata l'idoneità al riutilizzo, con materiale di recupero derivante dalle demolizioni, così come descritto al paragrafo 9.4.

### 11.1.3. Cumuli di materiale

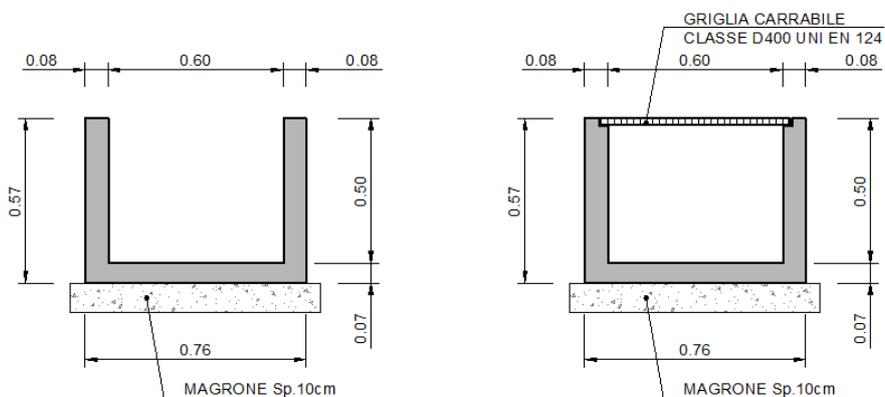
Per lo stoccaggio del materiale proveniente dagli scavi di bonifica si prevede (cfr. figura n.72) la formazione di cumuli con altezza massima pari a 2m da quota piazzale e pendenza delle scarpate pari a 3:1 (orizzontale:verticale); al fine di garantire l'impermeabilità dei cumuli nei confronti delle acque meteoriche si prevede di rivestire il materiale (base superiore, base inferiore e scarpate) con teli in LDPE.



**Figura 72: Piazzale di stoccaggio – Sezione tipo cumulo terreni**

#### 11.1.4. La rete di drenaggio delle acque di piazzale

Per il drenaggio e la regimazione delle acque del nuovo piazzale si prevede la posa (cfr. figura n. 73) di una canaletta perimetrale in c.a.v. avente dimensioni nette interne pari a 0.50x0.60m, pendenza longitudinale pari allo 0.2÷0.3% e dotata di griglia carrabile (classe D400) in corrispondenza delle zone di transito mezzi.



**Figura 73: Piazzale di stoccaggio – Canaletta di regimazione acque di piazzale**

Il sistema di raccolta consentirà la separazione delle acque di prima pioggia (da sottoporre a trattamento) da quelle di seconda pioggia prima dello scarico presso il recettore finale (Roggia Fiumicella).

Per il recapito finale al punto di scarico è prevista la posa di un tratto di collettore interrato DN500 in HDPE SN8 e l'allaccio in corrispondenza del tombino esistente lungo via Morosini.

## 11.1.5. Gestione terreni

Una volta predisposta la piattaforma di Soil Washing si procederà a gestire i terreni escavati secondo le modalità previste al Capitolo 9.

Si stima che circa un 30% del volume totale sia costituito da frazioni fini (limi e argille), non idoneo al trattamento tramite Soil Washing e quindi destinato all'incapsulamento diretto. Del restante 70% da avviare a trattamento, è possibile ipotizzare che circa il 30% del materiale sottoposto a lavaggio debba essere inviato ad incapsulamento. Tali percentuali potranno variare in funzione delle caratteristiche effettive dei materiali sottoposti a lavaggio e dei rendimenti effettivi del trattamento.

Di seguito è riportata una tabella riassuntiva dei volumi di scavo e dei flussi stimati relativi agli interventi previsti dal Lotto "Via Milano". I quantitativi potranno essere aggiornati a seguito dei risultati delle attività di caratterizzazione in banco e dei test di lavaggio a scala pilota.

**Tabella 45: Volumi materiali stimati (Lotto "Via Milano")**

<b>Lotto di Via Milano</b>		
	<b>Percentuale</b>	<b>Volumi stimati [m<sup>3</sup>]</b>
<b>Demolizioni</b>		
<b>198</b>		
<i>Materiali misti da demolizione destinati a sistema MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti non pericolosi (rifiuti inerti)</i>	80%	158.4
<i>Materiali misti da demolizione destinati a trattamento caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti non pericolosi (rifiuti non pericolosi)</i>	20%	39.6
<b>Scavi di bonifica</b>		
<b>4295</b>		
<b>MISP diretta</b>	30%	<b>1288.50</b>
<i>Sistema MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti non pericolosi</i>	80%	1030.80
<i>Sistema MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti pericolosi</i>	20%	257.70
<b>Soil Washing</b>	70%	<b>3006.50</b>
<i>Recupero</i>	70%	2104.55
<i>A sistema MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti pericolosi da SW</i>	30%	901.95
<b>Totale volumi a MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti pericolosi</b>		
<b>1159.65</b>		
<b>Totale volumi a MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti non pericolosi</b>		
<b>1228.80</b>		
<b>Totale volumi a Recupero</b>		
<b>2104.55</b>		

## 11.2. Lotto “Funzionale”

Terminate le attività all'interno del Lotto “Via Milano” si proseguirà con gli interventi previsti nelle restanti aree comprese nel “Lotto Funzionale”. In tale porzione del sito gli interventi interesseranno sia la porzione superficiale che quella profonda del sottosuolo.

Per quanto riguarda i **terreni superficiali** la strategia individua due azioni complementari su diverse porzioni del lotto di intervento:

- rimozione diretta dei terreni contaminati al fine di traguardare ove possibile lo svincolo di alcune aree a CSC commerciali-industriali; trattamento dei terreni escavati mediante lavaggio on-site (impianto di Soil Washing) e riutilizzo in sito, per reinterri e rimodellamenti delle aree scavate, del materiale sopravaglio e del materiale trattato, previa verifica di conformità al riutilizzo;
- messa in sicurezza permanente delle aree restanti mediante confinamento superficiale (capping), volto ad impedire la lisciviazione dei contaminanti presenti nei terreni; realizzazione di un incapsulamento dei terreni maggiormente contaminati (materiali fini in genere) ritenuti non trattabili e dei fanghi di lavaggio; ricopertura finale con modellazione e piantumazione dell'area a capping.

Per quanto riguarda i **terreni profondi** la strategia proposta individua differenti azioni tese alla rimozione diretta della contaminazione mediante *Soil Replacement* o alla sua eliminazione e/o immobilizzazione mediante *tecnologie in situ* (cfr. Capitolo 10).

### 11.2.1. Attività preliminari

Preliminarmente all'esecuzione degli interventi previsti nel Lotto “Funzionale”, dovranno essere eseguite le attività necessarie alla Per consentire l'esecuzione di tali attività le baie di accumulo A1/A5/A6 dovranno essere completate le attività di realizzazione delle baie A1/A5/A6 e dell'impianto Soil Washing, il quale sarà ubicato nell'area a sud dello stabilimento, così come illustrato in Tav. 6.

In tale area, verrà quindi primariamente realizzata l'impermeabilizzazione superficiale come descritto nel paragrafo 9.5 Per completare tale intervento si prevede l'esecuzione di uno scotico preliminare superficiale sull'intera area per consentire la posa del pacchetto impermeabilizzante.

L'impermeabilizzazione sarà completata con la posa di adeguato manto di copertura portante impermeabilizzante.

Al termine della realizzazione dell'impermeabilizzazione, sarà costruito l'impianto di Soil Washing e le relative aree di accumulo dei terreni in uscita dal trattamento come descritto al paragrafo 9.1.8.

### 11.2.2. Escavazione e gestione terreni contaminati

Gli scavi e i flussi di terreno saranno gestiti come descritto al paragrafo 9.1. Le aree di intervento e le profondità di scavo previste sono riportate in Tav. 4.

A seguito dell'escavazione i terreni idonei al trattamento mediante Soil Washing saranno inviati all'impianto di lavaggio dove subiranno i trattamenti descritti al paragrafo 9.3.

Una volta verificata l'idoneità al recupero del materiale lavato, si potrà procedere al ritombamento delle aree così come descritto al paragrafo 9.4.

Si stima che circa un 30% del volume totale sia costituito da frazioni fine (limo e argille) e risulti non idoneo al trattamento tramite Soil Washing e quindi destinato all'incapsulamento diretto.

Del restante 70% da avviare a trattamento, è possibile ipotizzare che circa il 30% del materiale sottoposto a lavaggio debba essere inviato ad incapsulamento. Tali percentuali potranno variare in funzione delle caratteristiche effettive dei materiali sottoposti a lavaggio e dei rendimenti effettivi del trattamento.

I terreni idonei al riutilizzo e quelli destinati all'incapsulamento in sito verranno trasferiti dalle aree di primo accumulo alle aree dedicate mediante camion a bilico, utilizzando la viabilità interna di cantiere.

### 11.2.3. Interventi sui terreni profondi

Per quanto riguarda i **terreni profondi**, le aree di intervento ricadono tutte nell'ambito del Lotto funzionale, pertanto si rimanda alla sezione 10 per la descrizione di dettaglio dei singoli interventi.

I terreni derivanti dalle operazioni di asportazione delle sorgenti profonde mediante Soil Replacement saranno destinati ad incapsulamento (o a lavaggio per eventuale recupero) e sono stimati in circa 10.000 m<sup>3</sup>.

Ulteriori azioni potranno essere previste nel caso in cui, a seguito dello smantellamento degli impianti, dovesse essere evidenziata la presenza di sorgenti secondarie ad oggi non identificate o adeguatamente delimitate a causa della presenza di strutture e impianti attivi o dismessi.

### 11.2.4. Messa in sicurezza permanente / Capping

Gli interventi di impermeabilizzazione delle aree, all'interno del Lotto "Funzionale", soggette a messa in sicurezza permanente saranno realizzati secondo le modalità descritte al paragrafo 9.5.

Nella tabella seguente è riportata la stima delle aree che saranno sottoposte a impermeabilizzazione nell'ambito di tale lotto di intervento.

**Tabella 29: Aree impermeabilizzazione (Lotto "Funzionale")**

<b>Tipologia intervento</b>	<b>Superficie (m<sup>2</sup>)</b>
Impermeabilizzazione doppia (base e superficiale) e incapsulamento	27.490
Impermeabilizzazione singola (area a Sud via Morosini)	7.100

Di seguito è riportata la tabella riassuntiva dei volumi di terreni da scavare e dei flussi da gestire nell'ambito del Lotto "Funzionale".

**Tabella 47: Volumi materiali stimati ( Lotto "Funzionale")**

## Lotto Funzionale

	Percentuale	Volumi stimati m <sup>3</sup>
<b>Demolizioni</b>		<b>24490.90</b>
Materiali misti da demolizione destinati a recupero	30%	7347.27
Materiali misti da demolizione destinati a sistema MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti non pericolosi (rifiuti inerti)	30%	7347.27
Materiali misti da demolizione destinati a sistema MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti non pericolosi (rifiuti non pericolosi)	20%	4898.18
Materiali misti da demolizione destinati a sistema MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti non pericolosi (rifiuti pericolosi)	20%	4898.18
<b>Scavi di bonifica</b>		<b>33449</b>
<b>Scavi accessori</b> (trincee, bacino laminazione, etc.)		2473
<b>Tot volume terreni da scavo</b>		<b>35922</b>
<b>MISP diretta</b>	30%	<b>10776.64</b>
Sistema MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti non pericolosi	50%	5388.32
Sistema MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti pericolosi	50%	5388.32
<b>Soil Washing</b>	70%	<b>25145.49</b>
Recupero	70%	17601.84
A sistema MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti pericolosi da SW	30%	7543.65
<b>Soil Replacement</b>		<b>10000.00</b>
sistema MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti pericolosi	80%	8000.00
A trattamento (Soil washing)	20%	2000.00
Recupero	70%	1400.00
A sistema MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti pericolosi da SW	30%	600.00
<b>Totale volumi a MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti pericolosi</b>		<b>26430.15</b>
<b>Totale volumi a MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti non pericolosi</b>		<b>17633.77</b>
<b>Totale volumi a Recupero</b>		<b>26349.11</b>

### 11.3. Lotto "di completamento"

A seguito della realizzazione degli interventi previsti per il Lotto Funzionale si procederà ad attivare gli interventi previsti per le restanti porzioni del sito (Lotto "di completamento") i quali interesseranno la sola porzione superficiale del sottosuolo.

Per il Lotto “di completamento” la strategia individua due azioni complementari su diverse porzioni del lotto di intervento:

- rimozione diretta dei terreni contaminati al fine di raggiungere ove possibile lo svincolo di alcune aree a CSC verde-residenziale; laddove non risultassero raggiungibili i valori di CSC, in fase di collaudo si farà riferimento alle CSR definite dall'Analisi di Rischio (Par. 6.2). Trattamento dei terreni scavati mediante lavaggio on-site (impianto di Soil Washing) e riutilizzo in sito, per reinterri e rimodellamenti delle aree scavate, del materiale sopravvaglio e del materiale trattato, previa verifica di conformità al riutilizzo;
- messa in sicurezza permanente delle aree restanti mediante confinamento superficiale (capping), volto ad impedire la lisciviazione dei contaminanti presenti nei terreni; realizzazione incapsulamento dei terreni maggiormente contaminati (materiali fini in genere) ritenuti non trattabili e dei fanghi di lavaggio; ricopertura finale con modellazione e piantumazione dell'area a capping.

#### 11.3.1. Attività preliminari

Per consentire l'esecuzione di tali attività le baie di accumulo A1/A5/A6 dovranno essere preliminarmente riubicare. Pertanto, le baie A1/A5/A6 realizzate nella porzione sud del Lotto “A Completamento” saranno dismesse e opportunamente rilocate in un'area non interferente con gli interventi previsti in tale Lotto.

#### 11.3.2. Escavazione e gestione terreni contaminati

Gli scavi e i flussi di terreno saranno gestiti come descritto al paragrafo 9.1. Le aree di intervento e le profondità di scavo previste sono riportate in Tav. 4.

A seguito dell'escavazione, i terreni idonei al trattamento mediante Soil Washing saranno inviati all'impianto di lavaggio dove subiranno i trattamenti descritti al paragrafo 9.2. Una volta verificata l'idoneità al recupero del materiale lavato, si potrà procedere al ritombamento delle aree così come descritto al paragrafo 9.4.

Si stima che circa un 30% del volume totale sia costituito da frazioni fine (limo e argille) e risulti non idoneo al trattamento tramite Soil Washing e quindi destinato all'incapsulamento diretto.

Del restante 70% da avviare a trattamento, è possibile ipotizzare che circa il 30% del materiale sottoposto a lavaggio debba essere inviato ad incapsulamento. Tali percentuali potranno variare in funzione delle caratteristiche effettive dei materiali sottoposti a lavaggio e dei rendimenti effettivi del trattamento.

I terreni idonei al riutilizzo e quelli destinati all'incapsulamento in sito verranno trasferiti dalle aree di primo accumulo alle aree dedicate mediante camion a bilico, utilizzando la viabilità interna di cantiere.

#### 11.3.3. Messa in sicurezza permanente / Capping

Gli interventi di impermeabilizzazione delle aree, ricadenti all'interno del Lotto “di completamento”, soggette a messa in sicurezza permanente saranno realizzati secondo le modalità descritte al paragrafo 0.

Nella tabella seguente è riportata la stima delle aree che saranno sottoposte a impermeabilizzazione nell'ambito di tale lotto di intervento.

**Tabella 30: Aree impermeabilizzazione (Lotto “di completamento”)**

<b>Tipologia intervento</b>	<b>Superficie (m<sup>2</sup>)</b>
Impermeabilizzazione doppia (base e superficiale) e incapsulamento	41.890

Di seguito è riportata la tabella riassuntiva dei volumi di terreni da scavare e dei flussi da gestire nell'ambito del Lotto “di completamento”.

Tabella 49: Volumi materiali stimati ( Lotto "di completamento")

## Lotto di completamento

	Percentuale sul totale	Volumi stimati m <sup>3</sup>
<b>Demolizioni</b>		<b>13615.60</b>
Materiali misti da demolizione destinati a recupero	30%	4084.68
Materiali misti da demolizione destinati a sistema MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti non pericolosi (rifiuti inerti)	30%	4084.68
Materiali misti da demolizione destinati a sistema MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti non pericolosi (rifiuti non pericolosi)	20%	2723.12
Materiali misti da demolizione destinati a sistema MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti non pericolosi (rifiuti pericolosi)	20%	2723.12
<b>Scavi di bonifica</b>		<b>75900</b>
Scavi accessori (trincee, bacino laminazione, etc.)		2520
<b>Tot volume terreni da scavo</b>		<b>78420</b>
<b>MISP diretta</b>	30%	<b>23526.00</b>
sistema MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti non pericolosi	50%	11763.00
sistema MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti pericolosi	50%	11763.00
<b>Soil Washing</b>	70%	<b>54894.00</b>
Recupero	70%	38425.80
A sistema MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti pericolosi da SW	30%	15939.00
<b>Totale volumi a MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti pericolosi</b>		<b>30425.12</b>
<b>Totale volumi a MISP con caratteristiche conformi ad impianto di discarica per rifiuti non pericolosi</b>		<b>18570.80</b>
<b>Totale volumi Recupero</b>		<b>42510.48</b>

## 12. DESCRIZIONE DETTAGLIATA DELLA SOLUZIONE – ACQUE SOTTERRANEE

### 12.1. Strategia di intervento

La strategia di intervento sulle acque sotterranee è strettamente connessa alle fasi di risanamento dei terreni: infatti, la rimozione delle sorgenti secondarie, permetterà la graduale e progressiva diminuzione degli apporti interni al sito ed il miglioramento della qualità delle acque sotterranee.

Pertanto, per la bonifica delle acque sotterranee si propone un approccio per fasi:

**Fase 1:** prevede di mantenere gli emungimenti attuali con l'ottimizzazione delle portate secondo i risultati del modello idrogeologico (All. 2); le acque emunte continueranno ad essere trattate mediante gli impianti esistenti (paragrafo 12.1.1.2).

**Fase 2:** con l'avvio della bonifica dei terreni si propone di passare gradualmente a configurazioni di contenimento più mirate, sempre del tipo "plume control", ovvero azioni indirizzate ad evitare la migrazione verso l'esterno dei pennacchi di contaminazione che hanno origine all'interno del sito, evitando al contempo di intercettare la contaminazione proveniente dalle aree limitrofe; progressivamente saranno implementate azioni mirate alle zone dell'acquifero ove risiede la maggior parte della massa di contaminazione residua (azioni di "source control"), massimizzando i tassi di estrazione.

**Fase 3.** Una volta ridotte o eliminate le sorgenti secondarie nei terreni potranno essere pianificati emungimenti localizzati ("*source control*") mirati alle zone di acquifero con eventuale presenza di una significativa massa residua di contaminanti.

Per rispondere a queste necessità e progettare gli interventi e le azioni necessarie, ci si è avvalsi del modello matematico di flusso dell'acquifero del sito. Il modello utilizzato da AECOM, deriva dal modello idrogeologico del sito d'interesse Nazionale (SIN) "Brescia Caffaro" sviluppato dal Dipartimento di Brescia dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (di seguito ARPA Brescia) della Lombardia.

Il modello acquisito da ARPA Brescia è stato quindi aggiornato e dettagliato da AECOM nell'area del sito di Caffaro sulla base delle indagini multilivello di "*Remedial Investigation*" realizzate nell'area dello stabilimento. Il modello così aggiornato è stato utilizzato per simulare gli effetti e dimensionare le diverse azioni necessarie all'ottimizzazione dell'attuale messa in sicurezza e al completamento della bonifica delle acque sotterranee del sito.

Maggiori dettagli sul processo di aggiornamento e utilizzo del modello sono forniti nell'All. 2, nei paragrafi che seguono si riassumono i risultati delle simulazioni effettuate ed il dimensionamento dei sistemi nel corso delle diverse fasi di bonifica dei terreni.

#### 12.1.1. Fase 1 – Ottimizzazione emungimenti

Allo stato attuale le acque sotterranee contaminate vengono trattenute all'interno del sito per mezzo dei consistenti emungimenti (circa 1500 m<sup>3</sup>/h) operati dai pozzi industriali, che generano, come sempre evidenziato dalle ricostruzioni piezometriche effettuate nel corso degli anni, un'estesa area di depressione piezometrica che coinvolge non solo l'areale del sito, ma che si estende significativamente anche nelle aree limitrofe ad esso (cfr. All. 2– Figura 11 ).

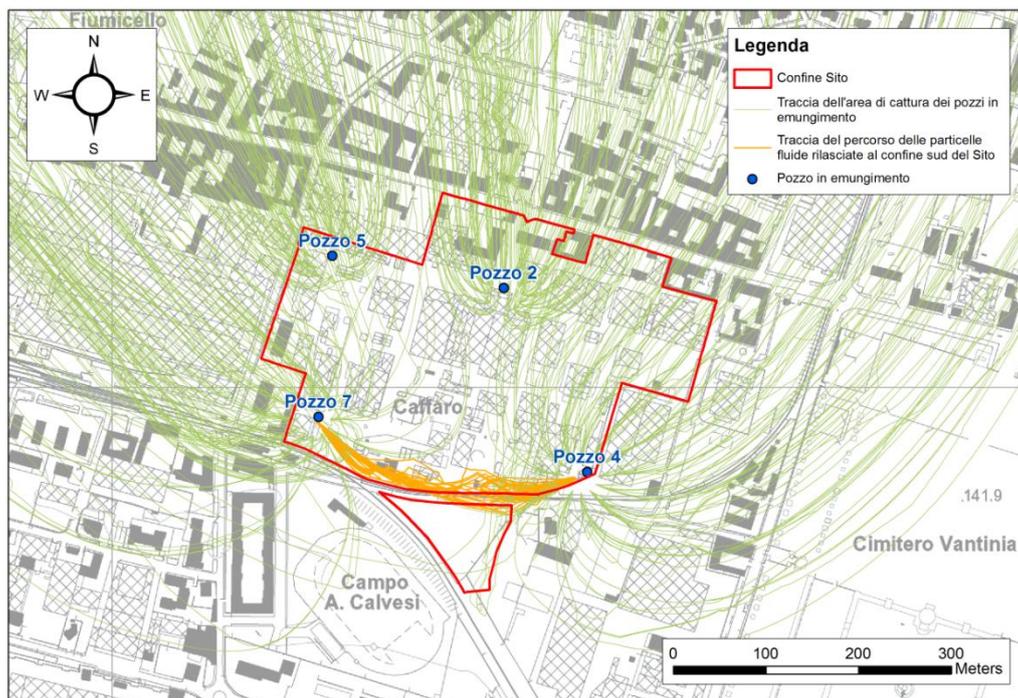
Pertanto una **prima azione immediata** consisterà nell'adeguamento delle attuali portate di emungimento alle reali necessità di contenimento dei pennacchi di contaminazione provenienti dall'interno del sito. Le acque emunte continueranno ad essere inviate all'impianto di trattamento esistente (paragrafo 12.1.1.2).

La configurazione ottimizzata prevede la prosecuzione delle azioni di plume control con una sostanziale riduzione e redistribuzione della portata complessiva, che passerà da circa 1500 m<sup>3</sup>/h a circa 800 m<sup>3</sup>/h e che sarà distribuita come segue:

**Tabella 50: Fase 1 – Portate di emungimento**

Pozzo	Portata (m <sup>3</sup> /ora)
P2	100
P4	300
P5	100
P7	300
<b>Totale</b>	<b>800</b>

La figura 74 mostra che tale configurazione garantisce l'azione di contenimento del fronte, come mostrato sia dall'area di cattura (linee verdi) dei quattro pozzi, sia dall'andamento delle particelle fluide rilasciate immediatamente a monte del confine meridionale del Sito (linee arancioni).



**Figura 74: Area di cattura con l'ottimizzazione delle portate del sistema attuale.**

### 12.1.1.1. Valutazione effetti della riduzione degli emungimenti

Nel corso del Tavolo Tecnico del 1 ottobre 2019, ISPRA ha richiesto (parere ISPRA in allegato 3) una valutazione più approfondita degli effetti della riduzione delle portate di emungimento da 1500 mc/giorno a

800 mc/giorno prevista nel corso della fase 1, in cui si prevede di mantenere gli emungimenti attuali con l'ottimizzazione delle portate secondo i risultati del modello idrogeologico.

Gli effetti di tale riduzione di portata sono stati già considerati e valutati tramite l'utilizzo del modello numerico idrogeologico e l'analisi di dati freaticometrici ed idrochimici storici. Di seguito sono quindi presentati i risultati di tale valutazione:

- La riduzione della portata da 1500 mc/giorno a 800 mc/giorno non produce effetti negativi sull'efficacia del contenimento idraulico; come mostrato nella Figura 75 sottostante il sistema di emungimento, nella configurazione prevista per la fase 1, previene la fuoriuscita di particelle potenzialmente contaminate al di fuori dello stabilimento Caffaro.
- La riduzione della portata da 1500 mc/giorno a 800 mc/giorno produce un innalzamento variabile tra circa 1,2 metri e 1,8 metri (Figura 72), a cui sono associati dei valori di carico idraulico massimi all'interno dello stabilimento di circa 116 m s.l.m. Tale valore risulterebbe essere circa 6 metri inferiore ai picchi di alto piezometrico, pari a circa 123 m s.l.m., rilevati nel Pz5 int nel 2011 e nel 2014, come mostrato in Figura 76.
- L'analisi dei dati idrochimici relativi ad un livello di circa 120 m s.l.m. (gennaio 2015) mostra che le concentrazioni dei contaminanti associate a tale condizione erano generalmente più elevate ma comunque dello stesso ordine di grandezza rispetto a quelle associate a condizioni di falda simili a quelle attuali (e.g. ottobre 2016 e settembre 2017). Tali variazioni di carico inquinante sono già state gestite in passato mediante gli attuali sistemi di trattamento delle acque di falda; si ritiene che eventuali effetti indotti dall'innalzamento della falda sulle concentrazioni dei contaminanti possano essere gestite anche con portate di emungimento inferiori.

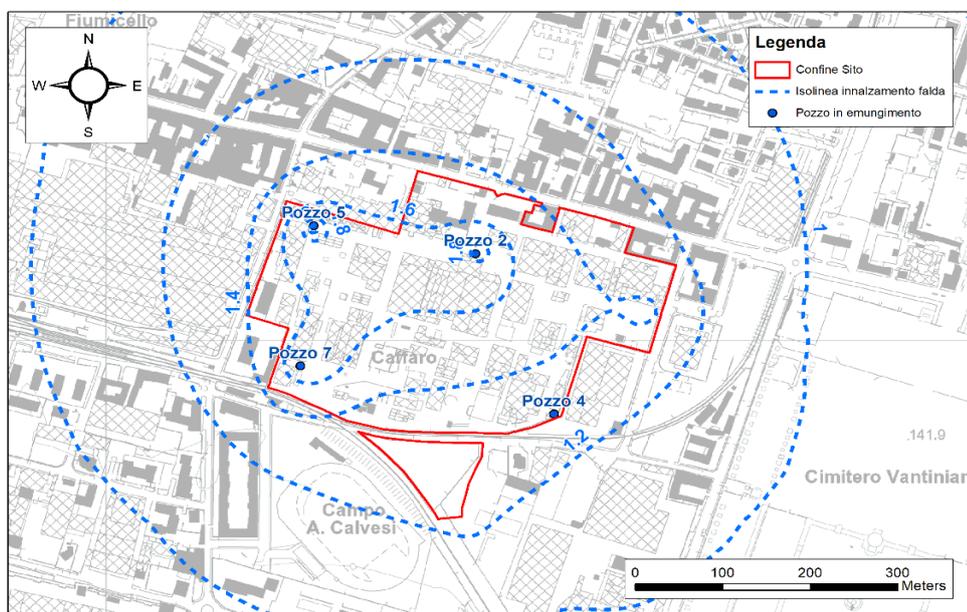


Figura 75: Innalzamento della falda prodotto dalla riduzione di portata prevista nel corso della fase 1

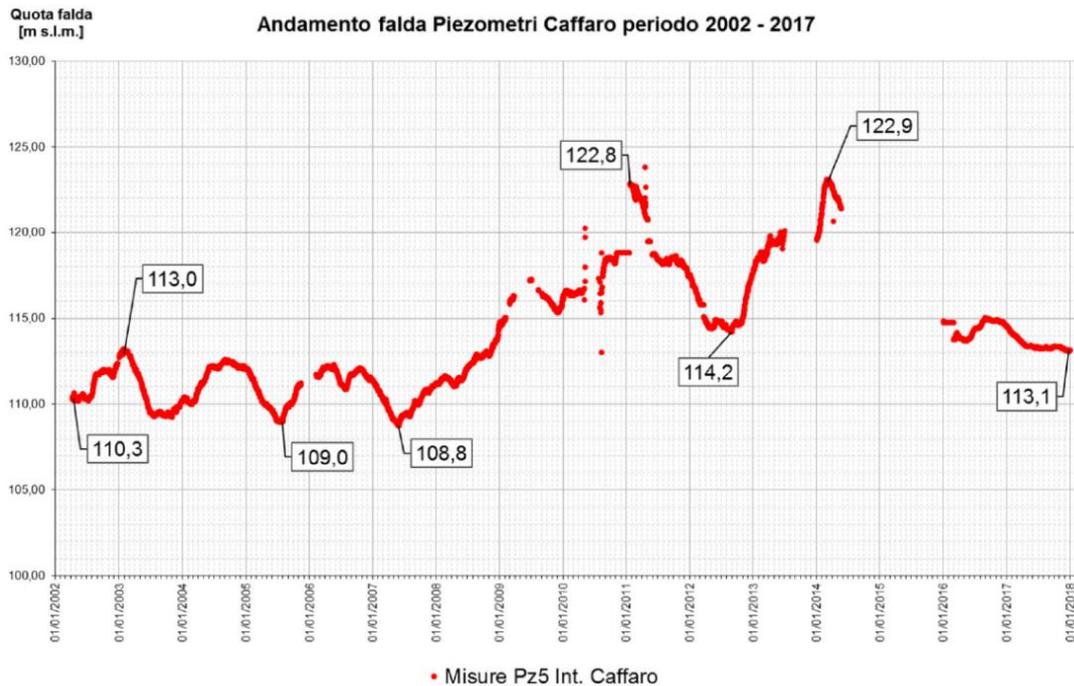


Figura 76: Variazioni temporali rilevate dal datalogger installato nel Pz5 presso lo stabilimento Caffaro

- La riduzione della portata di emungimento nel corso della fase 1 sarà in ogni caso operata in modo progressivo e non istantaneo; tale metodologia consentirà di verificare, tramite monitoraggio periodico, se gli effetti prodotti saranno in linea con le valutazioni effettuate ed eventualmente apportare, in caso di differenze sostanziali, le necessarie modifiche alla configurazione stabilita.

A fronte delle considerazioni sopra espresse in merito agli effetti attesi sul livello di falda locale, occorre ricordare che la riduzione di portata da 1500 mc/giorno a 800 mc/giorno comporterà una riduzione dell'estensione dell'area di cattura (attualmente estesa significativamente anche in aree limitrofe) nelle aree esterne allo stabilimento.

#### 12.1.1.2. Impianto di trattamento attuale delle acque di falda

Le acque emunte continueranno ad essere trattate mediante i sistemi esistenti costituiti da due moduli di trattamento:

- ✓ Modulo di trattamento Pozzo 7
- ✓ Modulo di trattamento Pozzo 2

#### Modulo di trattamento Pozzo 7

L'acqua emunta dal Pozzo 7 viene inviata a un impianto di strippaggio per la riduzione del contenuto di VOC nell'acqua e successivamente ad un filtro a carbone attivo e un filtro a resine per la rimozione del mercurio (figura 77).

L'impianto è dimensionato per trattare una portata di circa 210 m<sup>3</sup>/h. Di seguito sono presentate le principali caratteristiche delle apparecchiature relative all'impianto di trattamento, così come riportate nella documentazione di progetto resa disponibile:



**Figura 77: Vista filtri a carbone attivo (in alto a sinistra), sezione di demercurizzazione (in alto a destra) e ubicazione indicativa delle sezioni di trattamento del Pozzo 7)**

### Modulo di trattamento Pozzo 2

Il modulo utilizzato per il trattamento delle acque emunte dal Pozzo 2 consiste in una sezione di trattamento a resine a scambio ionico (figura 78), selettive per la rimozione del mercurio.

Il sistema è costituito da due apparecchi in serie, ciascuno dei quali di diametro 2500 mm e con uno strato di riempimento di circa 200 mm di resina con gruppi funzionali tiolici.

La portata d'acqua di trattamento risulta pari a circa 92 l/s (330 m<sup>3</sup>/h).



Figura 78: Vista filtri presso Pozzo P2

#### 12.1.2. Fase 2 – Ottimizzazione del plume control, attivazione del source control

La **seconda azione** da intraprendere per l'adeguamento dei sistemi sarà l'attivazione progressiva delle azioni di source control nell'area del Pozzo 7, la progressiva e graduale riduzione degli emungimenti da parte dei pozzi a monte del sito e la loro sostituzione con emungimenti lungo il confine meridionale. In tal modo, la razionalizzazione delle ubicazioni dei pozzi di emungimento permetterà di ottenere i medesimi risultati di controllo dei plume, applicando portate ancora inferiori.

Nella figura seguente è mostrato l'effetto di tale configurazione, nella quale saranno attive:

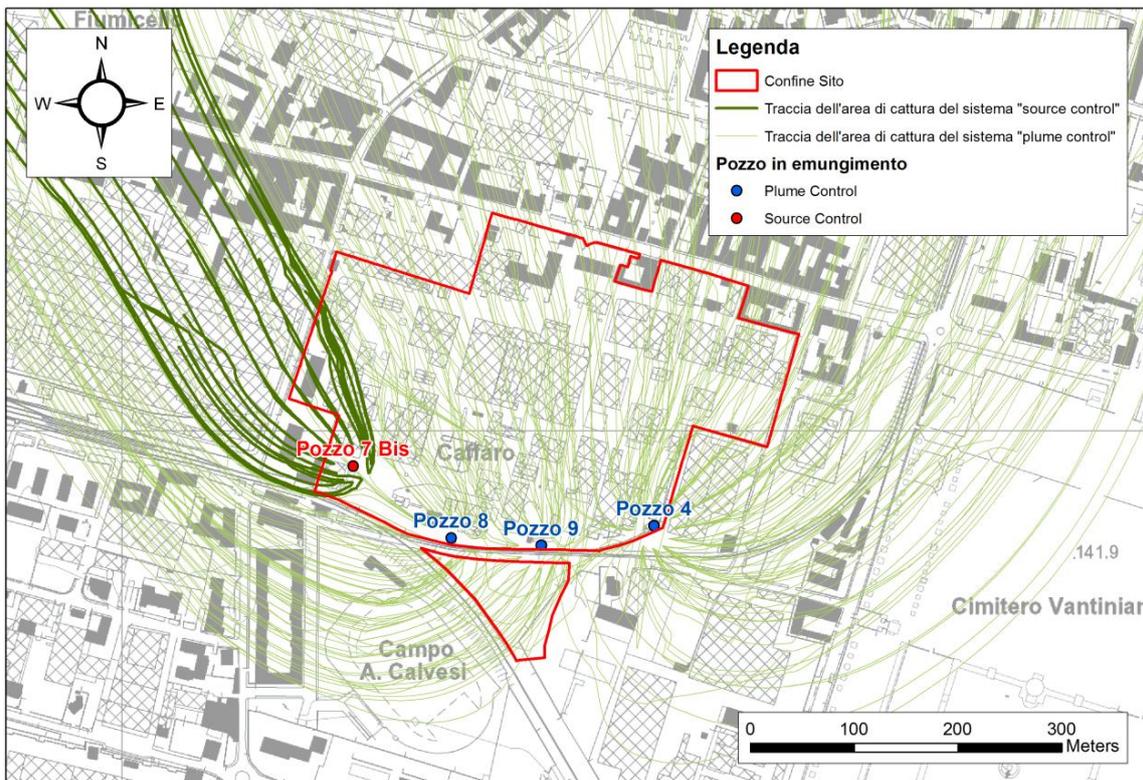
- ✓ azioni di source control nel nuovo Pozzo 7bis che sarà fenestrato solo nell'intervallo di profondità corrispondente ai livelli maggiori di PCB (tra 30 e 40 m di profondità);
- ✓ azioni di plume control nei nuovi Pozzi 8 e 9, che saranno fenestrati fino a 60 m dal piano campagna, ove transita la contaminazione proveniente dal sito, e dal pozzo esistente P4, che sarà mantenuto attivo.

Le portate applicate sono riassunte di seguito:

Tabella 51: Fase 2 – Portate di emungimento

Pozzo	Portata (m <sup>3</sup> /ora)
P4	250
P7 Bis (pozzo nuovo)	30
P8 (pozzo nuovo)	85
P9 (pozzo nuovo)	85
<b>Totale</b>	<b>450</b>

Gli effetti di una tale configurazione, ricostruiti con il modello matematico, sono riportati nella figura seguente.



**Figura 79: Area di cattura prodotta nella configurazione con ottimizzazione spaziale degli emungimenti**

La configurazione mostrata in figura 79 permetterà di ridurre la portata complessiva senza inficiare l'efficacia del contenimento idraulico.

L'implementazione di azioni di "source control" (i.e. Pozzo 7 Bis) consentirà di intervenire in modo selettivo sull'intervallo caratterizzato dalla maggiore contaminazione.

### 12.1.3. Fase 3 - Azioni di completamento della bonifica (source control)

Una volta ridotte e/o eliminate le sorgenti secondarie nei terreni si proseguirà con gli emungimenti localizzati mirati alle zone di acquifero che risulteranno contenere maggior massa residua (azioni di "source control").

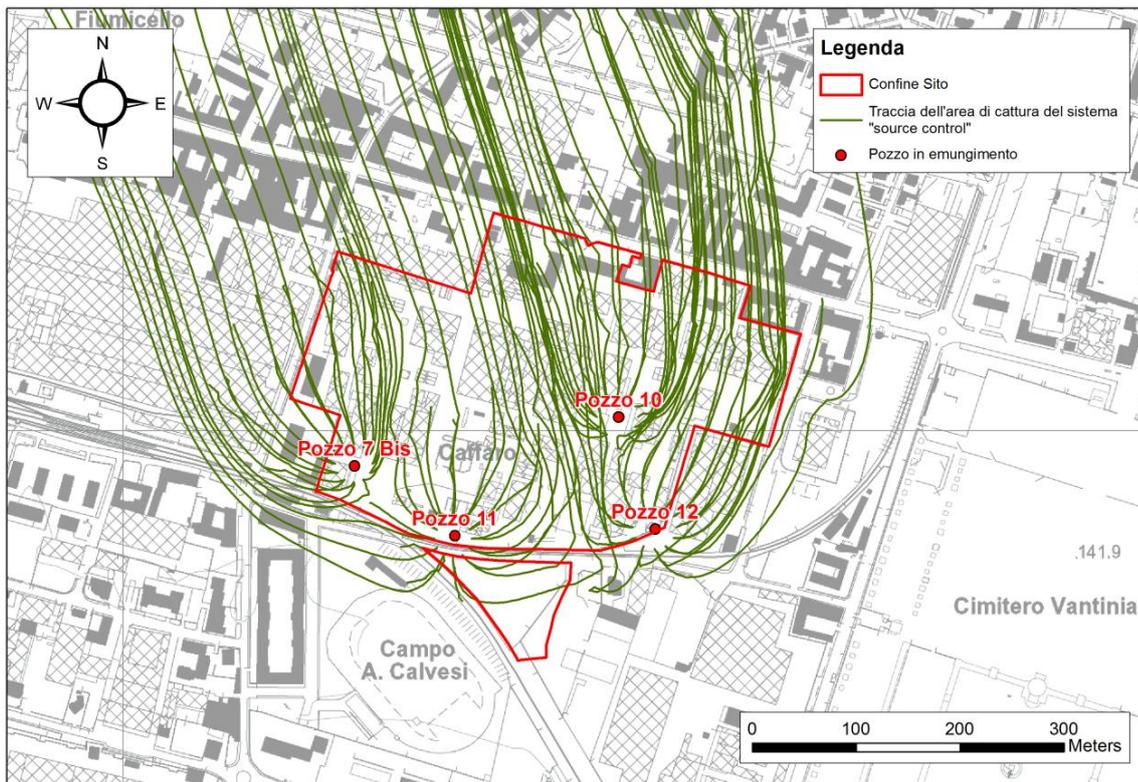
Sulla base delle conoscenze attuali si prevede di implementare gli emungimenti selettivi in corrispondenza delle aree indicate nella figura 80 nell'intervallo di profondità risultato più contaminato (tra 30 e 40 m di profondità). Le reali necessità di intervento andranno ricalibrate al termine delle operazioni di bonifica sui terreni ed in base agli esiti dei monitoraggi della falda eseguiti.

A titolo indicativo, gli effetti degli emungimenti localizzati in una tale ipotesi di intervento sono stati simulati attribuendo le seguenti portate:

**Tabella 52: Fase 3 – Portate di emungimento**

<b>Pozzo</b>	<b>Portata (m<sup>3</sup>/ora)</b>
P7 Bis	30
P10 (pozzo nuovo)	30
P11 (pozzo nuovo)	30
P12 (pozzo nuovo)	30
<b>Totale</b>	<b>120</b>

Gli effetti di una tale configurazione, ricostruiti con il modello matematico, sono riportati nella figura seguente.



**Figura 80: Area di cattura prodotta dal sistema di bonifica composto da 4 pozzi di tipo "source control" nell'intervallo di acquifero compreso tra 30 e 40 metri dal piano campagna**

La figura mostra come questa configurazione permetterà di intercettare efficacemente la contaminazione residua riconducibile alle sorgenti all'interno del sito, che si presume risiederà in orizzonti specifici all'interno dell'acquifero (nell'ipotesi ad oggi formulata, nell'orizzonte compreso tra 30 e 40 metri dal p.c.).

#### 12.1.4. Moduli di trattamento

In questo paragrafo sono presentati gli schemi di processo applicabili per il progressivo adeguamento e superamento dell'attuale MISE, distinti secondo linee di trattamento specifiche per soluzioni ottimizzate di *Source Control* in accordo con la strategia di intervento sopra descritta.

Tale soluzione prevede emungimenti localizzati e linee di trattamento dedicate da circa 50 m<sup>3</sup>/h ciascuna, in risposta alla specifica azione su ciascuna delle sorgenti di contaminazione individuate, al fine di massimizzare tassi di recupero dei contaminanti e rendimento dei sistemi di trattamento.

In funzione delle sorgenti di contaminazione ad oggi riscontrate è stata prevista la possibilità di installare, in funzione delle necessità riscontrate, linee di trattamento specifiche per la rimozione di:

- Cr VI (Modulo A)
- PCB e Solventi Clorurati (Modulo B)
- Hg (Modulo C)
- Hg, PCB e Solventi Clorurati (Modulo D)

- As (Modulo E)

Le caratteristiche dei sistemi di trattamento dovranno essere verificate in relazione alle effettive condizioni riscontrate in sito a seguito delle operazioni di bonifica dei terreni e in base ai risultati del piano di monitoraggio in corso d'opera.

Di seguito sono descritti i principi di dimensionamento, i cicli di processo e le configurazioni impiantistiche ad oggi individuate; in Tav. 14 sono riportati i relativi schemi di processo.

#### 12.1.4.1. *Caratteristiche qualitative acque in ingresso*

Per la valutazione del carico inquinante in ingresso al trattamento sono stati analizzati i dati disponibili relativi al monitoraggio delle acque del sito sull'arco temporale 2015-2017. A valle dell'analisi statistica dei dati, nell'ottica di intervenire puntualmente sui principali nuclei di contaminazione sono stati assunti opportuni coefficienti moltiplicativi al fine di tener conto della contemporanea riduzione di portata emunta e incremento delle concentrazioni (da uno a due ordini di grandezza superiori ai valori riscontrati).

Di seguito sono riportate le concentrazioni stimate di inquinanti specifici a base di progetto.

- Cr VI: 6000 µg/l
- Hg: 200 µg/l
- As: 300 µg/l
- PCB: 150 µg/l
- Fitofarmaci (sommatoria): 25 µg/l
- Solventi clorurati (sommatoria): 3500 µg/l

#### 12.1.4.2. *Limiti allo scarico*

I limiti di accettabilità sono quelli propri per scarico in Corpo Idrico Superficiale (CIS) di cui alla Tab.3, Allegato 5, Parte III del D.Lgs. 152/2006 per gli inquinanti caratteristici del sito, fatta eccezione per i valori più stringenti richiesti dalla Provincia di Brescia per i seguenti parametri:

- PCB: 0,02 µg/l come media annuale (12 misurazioni a cadenza mensile)
- Hg: 0,5 µg/l (tab. 1/B dell'all.1 alla parte II del D.Lgs. 152/06).
- Daphnia magna (test acuto a 24 ore): 50%
- Tossicità acuta 72 h Pseudokirkneriella sub capitata: 50%
- Tossicità Vibrio Fischeri (15 minuti): 50%

#### 12.1.4.3. *Source Control - Cromo VI*

Il sistema finalizzato al trattamento delle acque contaminate da Cromo VI risulta così configurato:

- serbatoi di accumulo acque emunte;
- bacino di contatto e reazione per la riduzione del Cr VI a Cr III;
- filtrazione su sabbia;
- serbatoi di stoccaggio acque depurate;
- serbatoio di stoccaggio acque di controlavaggio;
- coagulazione/flocculazione e sedimentazione per la gestione delle acque di controlavaggio;
- disidratazione dei fanghi prodotti dal trattamento delle acque di controlavaggio.

#### 12.1.4.3.1. *Descrizione del ciclo di lavoro*

L'acqua emunta è inviata ai serbatoi di accumulo; questi hanno funzione di polmonazione, al fine di garantire continuità di alimentazione all'impianto e disconnessione idraulica tra emungimento e trattamento.

Dai serbatoi di accumulo le acque sono rilanciate ad un reattore di contatto ove, mediante dosaggio di solfato ferroso e idrossido di sodio, il Cr VI è ridotto a Cr III al fine di ottenere un sale insolubile rimovibile mediante filtrazione. All'occorrenza è previsto il dosaggio di idrossido di sodio al fine di correggere il pH e tenersi in un range di precipitazione ottimale.

Le acque condizionate sono inviate ad una batteria di filtri a sabbia dove avviene la rimozione del Cromo. Le acque depurate sono quindi inviate ad un serbatoio di stoccaggio prima dello scarico. Il serbatoio di stoccaggio delle acque depurate garantisce la disponibilità di un volume di acqua sufficiente per la pulizia, mediante controlavaggio, dei filtri a sabbia.

Le acque di controlavaggio sono inviate ad una sezione di stoccaggio, quindi ad un impianto chimico-fisico per la rimozione del materiale sospeso, costituito dalle seguenti sezioni:

- Fase di coagulazione
- Fase di flocculazione
- Fase di sedimentazione

Nel bacino di coagulazione viene favorita la formazione di fiocchi di fango mediante dosaggio di coagulante ed eventuale idrossido di sodio (per correzione del pH). Successivamente nella sezione di flocculazione, i fiocchi sono ingrossati/appesantiti mediante dosaggio di polielettrolita. Infine nel sedimentatore finale avviene la separazione tra fase solida e fase liquida.

I fanghi prodotti sono infine disidratati e quindi avviati a smaltimento. Le acque chiarificate e i surnatanti di disidratazione sono invece riciclati ai serbatoi di accumulo iniziale e quindi ritratate in impianto.

#### 12.1.4.4. *Source Control – PCB e Solventi*

Per la rimozione di mercurio, PCB e solventi clorurati il ciclo di trattamento si compone come segue:

- serbatoi di accumulo acque emunte;

- filtrazione su sabbia;
- filtrazione su carbone attivo per rimozione PCB e Solventi;
- serbatoi di stoccaggio acque depurate;
- serbatoio di stoccaggio delle acque di controlavaggio;
- trattamento ad osmosi inversa (OI) delle acque di controlavaggio con batteria di filtri a cartucce a protezione delle membrane di OI;
- serbatoio di stoccaggio dei concentrati.

#### 12.1.4.4.1. *Descrizione del ciclo di lavoro*

L'acqua emunta è inviata ai serbatoi di accumulo; questi hanno funzione di polmonazione al fine di garantire continuità di alimentazione all'impianto e disconnessione idraulica tra emungimento e trattamento.

Le acque sono quindi rilanciate ad una batteria di filtri a sabbia, per la rimozione dei eventuali solidi sospesi e a protezione della successiva fase di adsorbimento su carbone attivo.

Le acque sono quindi alimentate alla sezione di adsorbimento su carbone attivo per la rimozione specifica dei contaminanti.

Le acque depurate in uscita dai filtri sono rilanciate ai serbatoio di stoccaggio finale i quali garantiscono la disponibilità di un volume di acqua depurata sufficiente per le operazioni di controlavaggio sia dei filtri a sabbia sia dei filtri a carbone.

Le acque di controlavaggio dei filtri sono stoccate in serbatoi, quindi alimentate al successivo stadio di trattamento ad osmosi inversa previo passaggio su filtri a cartuccia (rimozione del particolato).

La sezione di osmosi inversa permette di ottenere dal flusso di permeato un'acqua depurata priva di PCB e solventi. Questa è quindi inviata ai serbatoi di stoccaggio dell'acqua depurata e avviata allo scarico.

Il concentrato, all'interno del quale si trovano i PCB e i solventi clorurati rimossi durante le operazioni di controlavaggio, sono avviati ad un serbatoio di stoccaggio e periodicamente avviati a smaltimento presso impianti autorizzati.

Viste le caratteristiche degli inquinanti rimossi (solventi) le membrane di osmosi inversa devono essere scelte opportunamente e presentare elevati gradi di resistenza all'aggressività degli inquinanti di cui sopra.

#### 12.1.4.5. *Source Control – Hg*

L'impianto finalizzato alla rimozione del mercurio risulta analogo, per configurazione e ciclo di lavoro, al modulo di trattamento per la rimozione dei PCB e dei solventi clorurati.

La differenza risiede nel materiale di riempimento dei filtri a carbone attivo che, viste le specifiche caratteristiche del composto inquinante, sono di tipologia differente. In particolare la rimozione del mercurio richiede l'impiego di carboni attivi additivati per aumentarne la capacità adsorbente nei confronti del mercurio stesso.

## 12.1.4.6. *Source Control – Hg, PCB e Solventi*

Per operare la rimozione congiunta di mercurio, PCB e solventi clorurati occorre adattare il ciclo di trattamento dell'impianto per la rimozione di PCB e solventi, suddividendo la fase di adsorbimento su carboni attivi su due stadi in serie, uno specifico per l'abbattimento dei solventi e PCB ed uno per l'abbattimento selettivo del mercurio.

## 12.1.4.7. *Source Control – As*

Per la rimozione dell'arsenico il ciclo di trattamento si compone come segue:

- serbatoi di accumulo acque emunte;
- filtrazione su sabbia;
- serbatoi di stoccaggio acque depurate;
- serbatoio di stoccaggio delle acque di controlavaggio;
- coagulazione/flocculazione e sedimentazione per la gestione delle acque di controlavaggio;
- disidratazione dei fanghi prodotti dal trattamento delle acque di controlavaggio.

### 12.1.4.7.1. *Descrizione del ciclo di lavoro*

L'acqua emunta è inviata ai serbatoi di accumulo; questi hanno funzione di polmonazione al fine di garantire continuità di alimentazione all'impianto e disconnessione idraulica tra emungimento e trattamento.

Le acque sono quindi rilanciate ad una batteria di filtri a sabbia, previo dosaggio di permanganato di potassio e cloruro ferrico.

Le acque depurate in uscita dai filtri sono rilanciate ai serbatoi di stoccaggio finale i quali garantiscono la disponibilità di un volume di acqua depurata sufficiente per le operazioni di controlavaggio dei filtri a sabbia.

Le acque di controlavaggio sono inviate ad una sezione di stoccaggio, quindi ad un impianto chimico-fisico per la rimozione del materiale sospeso, costituito dalle seguenti sezioni:

- Fase di coagulazione
- Fase di flocculazione
- Fase di sedimentazione

Nel bacino di coagulazione viene favorita la formazione di fiocchi di fango mediante dosaggio di coagulante ed eventuale idrossido di sodio (per correzione del pH). Successivamente nella sezione di flocculazione, i fiocchi sono ingrossati/appesantiti mediante dosaggio di polielettrolita. Infine nel sedimentatore finale avviene la separazione tra fase solida e fase liquida.

I fanghi prodotti sono infine disidratati e quindi avviati a smaltimento. Le acque chiarificate e i surnatanti di disidratazione sono invece riciccolati ai serbatoi di accumulo iniziale e quindi ritratate in impianto.

## 12.1.5. Analisi integrative e prove di laboratorio

Prima della progettazione definitiva dei sistemi dovranno essere effettuate analisi integrative e apposite prove di laboratorio intese a raccogliere informazioni di dettaglio e attualizzate circa le caratteristiche dei flussi da trattare.

I campioni saranno sottoposti a determinazione analitica per la ricerca, oltre al pacchetto analitico sito specifico, dei seguenti parametri:

- METALLI: Arsenico, Cobalto, Cromo totale, Cromo esavalente, Ferro, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Manganese, Zinco, Potassio, Sodio
- INQUINANTI INORGANICI: Fluoruri (ione fluoruro), Solfati (ione solfato), Nitrati (ione nitrato), Cloruri (ione cloruro), Bicarbonati (ione bicarbonato)

Inoltre, prettamente di riferimento ai media filtranti da utilizzare, si ipotizza che possano essere realizzati:

- Batch test, per determinare la quantità di adsorbato per unità di massa di adsorbente.
- Prove in colonna, specificatamente per determinare tipo e caratteristiche della fuga dei contaminanti da trattare.

## 13. ATTIVITA' PROPEDEUTICHE ALLA REALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI DI BONIFICA

Le tecnologie proposte in questa fase di progettazione, selezionate sulla base di quelle riconosciute come potenzialmente applicabili al sito in esame (rif. Sezione 7.2.1) saranno valutate nel dettaglio a valle dei necessari ulteriori studi di approfondimento che comprendono:

- ✓ Indagini integrative propedeutiche all'esecuzione degli interventi di bonifica
- ✓ Test di trattabilità in laboratorio (bench scale);
- ✓ Campi prova specifici in campo (test pilota).

### 13.1. Indagini propedeutiche agli interventi di bonifica

Le attività proposte ("remedial investigation"), saranno realizzate successivamente agli interventi di demolizione di edifici e degli impianti (dismessi e produttivi) presenti in sito che consentiranno di portare alla luce le condizioni del sottosuolo e di indagare la matrice suolo in corrispondenza di aree attualmente non accessibili.

I risultati delle indagini integrative permetteranno quindi di valutare la presenza eventuali sorgenti secondarie ad oggi non evidenziate consentendo di estendere, laddove necessario, gli interventi di risanamento già individuati.

Le indagini previste coinvolgeranno inoltre le aree interessate dalle azioni di bonifica e messa in sicurezza dei terreni profondi (par. 10) al fine di delineare la distribuzione e la concentrazione dei contaminanti nei nuclei di contaminazione individuati consentendo il dimensionamento di dettaglio degli interventi.

Le attività di indagine prevedono la realizzazione dei seguenti interventi:

- esecuzione sondaggi geognostici per il prelievo di campioni secondo una maglia d'indagine 25x25 m in corrispondenza delle aree ad oggi non adeguatamente indagate e 10x10 m nell'intorno dei nuclei di contaminazione individuati per gli interventi profondi;
- integrazione della rete piezometrica ai fini di approfondire la qualità delle acque di falda in corrispondenza della zona centrale del sito (ex impianti Clortex e Cloro-Soda) mediante l'installazione dei piezometri MW9 e MW10 ed esecuzione di una ulteriore campagna di monitoraggio acque sotterranee;
- esecuzione di una ulteriore campagna di monitoraggio Soil Gas, servendosi della rete di campionamento (SG1-SG10) già realizzata nel corso delle indagini di Dicembre 2018 - Febbraio 2019, integrata con ulteriori due sonde SG11 e SG12 opportunamente collocate in corrispondenza di impianti ritenuti maggiormente critici per i percorsi di volatilizzazione (impianto clortex e impianto clorosoda);
- esecuzione di una campagna georadar su tutta l'area interessata dall'intervento di MISP al fine di individuare ed eventualmente procedere alla chiusura/rimozione di eventuali strutture interrato (canali, cavidotti, tubazioni, serbatoi, vasche) che possano costituire vie preferenziali di infiltrazione nel sottosuolo.

Relativamente alla porzione nord del sito, interessata dagli interventi di bonifica mediante scavo e smaltimento, come previsto nel paragrafo 9.1, prima di avviare le attività di scavo si procederà con la

caratterizzazione in banco mediante l'esecuzione di trincee e prelievo campioni delle aree oggetto di intervento.

### 13.1.1. Indagini integrative matrice terreni

Il piano d'indagine integrativo è stato studiato appositamente con il fine di raccogliere ulteriori elementi di dettaglio relativamente alle sorgenti di contaminazione e alle matrici ambientali in sito in corrispondenza degli edifici e degli impianti attualmente presenti in sito, a seguito degli interventi di demolizione e preliminarmente alla realizzazione dei previsti interventi di bonifica e messa in sicurezza.

Le attività di indagine riguarderanno la porzione del sito interessata dalle azioni di bonifica sui terreni profondi e dall'intervento di MISP mediante capping e confinamento. L'area di interesse è stata riperimetrata sulla base di quanto indicato nel parere tecnico di ARPA Lombardia del 23 settembre 2019 al fine di comprendere anche la porzione di sito interessata dalle opere di scavo per le sole aree attualmente occupate da edifici (Tavola 21).

Per la definizione del piano di indagine si è fatto riferimento in primo luogo al modello concettuale definitivo approvato, basato sui risultati delle indagini di caratterizzazione del sito (rif. Doc. Analisi delle concentrazioni dei contaminanti presenti nel sottosuolo dello stabilimento e Modello Concettuale Definitivo dello stabilimento – NCE, 2006). La figura seguente mostra le potenziali sorgenti primarie in sito evidenziate dallo studio sopra citato.

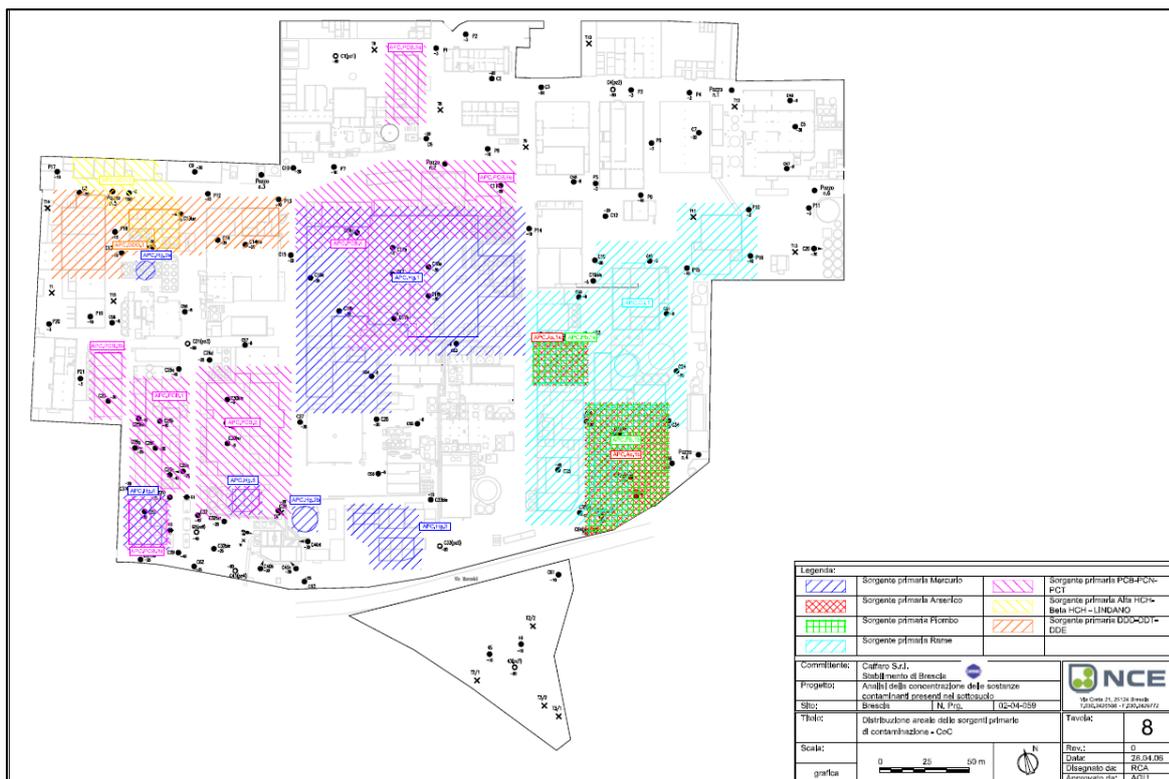


Figura 81: Distribuzione areale delle sorgenti primarie di contaminazione

Tenuto conto dei risultati delle attività di caratterizzazione e delle criticità a suo tempo evidenziate, il piano di indagine integrativo è stato basato su una maglia d'indagine 25x25m in corrispondenza delle aree non

coperte in maniera adeguata, particolarmente in relazione alla presenza di edifici e reparti produttivi ancora attivi al momento della realizzazione della caratterizzazione.

In particolare si è provveduto a verificare la copertura del sedime di alcuni reparti identificati come potenzialmente critici nell'ambito del modello concettuale definitivo:

- ex impianto polimeri clorurati (Clortex) nel settore nord ovest, individuato come potenziale sorgente di solventi clorurati (in particolare tetracloruro di carbonio);
- area impianto clorato, nella porzione centrale del sito, in prossimità di reparti ancora produttivi, individuato come potenziale sorgente di contaminazione da cromo esavalente;
- ex impianti PCB, Apirolio, Cloroparaffine nel settore sud ovest, individuati come potenziali sorgenti di PCB e clorobenzeni;
- ex impianto Cloro-Soda nella porzione centrale del sito, aree ex gasometro e compressione idrogeno a sud del sito, individuati come potenziali sorgenti di Hg;
- ex impianti Neoprol, antiparassitari, fertilizzanti e produzioni inorganiche nella porzione sud est, individuati come potenziali sorgenti di Pb, Cu e As.

La maglia di indagine così definita consentirà di indagare in maniera sufficientemente dettagliata tutte le aree individuate come potenziali sorgenti di contaminazione in funzione delle indagini già realizzate.

Al fine di indagare lo stato dei terreni in corrispondenza dell'area individuata come potenzialmente critica per i PCB ubicata nella porzione nord del sito (cabina di trasformazione), si prevede di realizzare due sondaggi tramite perforazione inclinata.

Il piano di indagine è stato realizzato tenendo conto di tutti i sondaggi preesistenti, delle relative profondità di perforazione e dei risultati delle indagini.

In corrispondenza dei nuclei di contaminazione individuati per gli interventi profondi è stata prevista la realizzazione di una maglia 10x10 m al fine di verificare con maggior precisione la distribuzione areale e verticale della contaminazione nelle zone di interesse e definire nel dettaglio l'articolazione degli interventi. A tal fine sono state identificate le seguenti aree di indagine:

- Area C26c-C26e, nella zona sud ovest del sito, in corrispondenza degli ex impianti PCB-Apirolio, interessata dalla presenza negli orizzonti profondi di PCB, PCDD-PCDF, Clorobenzeni e As;
- Area C27, nella porzione centrale, interessata dalla presenza negli orizzonti profondi di PCB, PCDD-PCDF, Clorobenzeni e As;
- Area C34, nella zona sud est del sito, con presenza significativa di As negli orizzonti profondi;
- Area impianto clorato, nella porzione centrale del sito, in prossimità delle sorgenti secondarie di contaminazione da mercurio e cromo esavalente.

Nel caso in cui le indagini integrative dovessero evidenziare ulteriori sorgenti negli orizzonti profondi si potrà valutare di estendere la maglia 10x10 anche a tali aree.

In Tavola 21 fuori testo si riporta la distribuzione dei sondaggi da realizzare. Il numero e la distribuzione dei punti di indagine risultano comunque indicativi e potranno essere aggiornati/ottimizzati in fase esecutiva in funzione delle condizioni effettivamente riscontrate a seguito delle operazioni di demolizione nonché delle evidenze di campo durante la stessa fase di indagine.

In considerazione delle valutazioni effettuate si stima ad oggi di realizzare complessivamente n. 124 nuovi sondaggi di cui n. 76 relativi al lotto funzionale e n. 48 nella porzione afferente il lotto di completamento.

#### 13.1.1.1. *Modalità di realizzazione sondaggi*

I sondaggi saranno realizzati a carotaggio continuo al raggiungimento della frangia capillare (ca. 30 m da p.c.) e consentiranno il prelievo di campioni di suolo per la determinazione dei parametri indice del sito.

Le perforazioni saranno realizzate servendosi di una sonda a rotazione mediante carotiere semplice, di lunghezza non superiore a 1,5 m e diametro pari a 131 mm, affinché il disturbo dei materiali attraversati sia il minimo possibile, consentendo il prelievo di campioni rappresentativi di lunghezza massima di 1 m.

L'esecuzione delle perforazioni sarà eseguita facendo riferimento alle seguenti modalità operative:

- utilizzo di rivestimenti e corone non verniciate;
- perforazione a secco ed a bassa velocità di rotazione, con eventuale utilizzo in avanzamento di acqua chiara dalla composizione chimica ben nota;
- pulizia dell'impianto di perforazione prima dell'inizio del lavoro;
- pulizia del carotiere e delle aste di perforazione e rimozione dei lubrificanti nelle zone filettate prima e dopo ogni sondaggio;
- pulizia di ogni strumento di misura e dei campioni inseriti in foro prima e dopo l'inserimento;
- pulizia dei contenitori e dell'impianto di circolazione per l'acqua di perforazione prima dell'inizio del lavoro;
- verifica continua del buon funzionamento delle attrezzature di perforazione, e dell'assenza di perdite di lubrificanti;
- le carote estratte verranno posizionate in apposite cassette catalogatrici per la loro conservazione, nella quale saranno riportati in modo indelebile il numero di sondaggio e le profondità di riferimento.

Sarà inoltre rilevata, durante il sondaggio contemporaneamente all'avanzamento, la stratigrafia dettagliata del terreno attraversato.

Laddove autorizzato, sarà effettuato un avanzamento a distruzione per il superamento di grossi blocchi o livelli di conglomerato lapideo, a patto di consentire una ricostruzione stratigrafica accurata, riprendendo il carotaggio una volta superato lo strato pseudo-roccioso.

Durante l'esecuzione del sondaggio, nel caso i cui venga eseguito a semplice circolazione d'acqua, all'inizio e alla fine di ogni turno di lavoro verrà misurato il livello dell'acqua accertandosi che fino alla quota della scarpa dei rivestimenti, il foro sia libero da materiali impermeabili i quali impedirebbero alla falda di raggiungere il livello pseudo-statico.

Una volta terminato il carotaggio, si procederà al rivestimento provvisorio del foro di perforazione, utilizzando rivestimenti a cannocchiale.

I sondaggi previsti sono caratterizzati da una profondità di progetto di circa 30 m da p.c., dunque non oltrepassano il livello impermeabile posto alla profondità presunta di 50 m da p.c.. Fino a tale profondità verrà utilizzata una tubazione di rivestimento di diametro pari a 220 mm.

### 13.1.1.2. *Prelievo campioni*

Il prelievo di campioni ha lo scopo di investigare, con maggior definizione, le sorgenti di contaminazione individuate nell'attuale modello concettuale del sito e verificare l'eventuale presenza di ulteriori criticità ad oggi non evidenziate. I risultati consentiranno inoltre di definire nel dettaglio gli interventi di bonifica provvisti in corrispondenza dei nuclei di contaminazione individuati e procedere alla calibrazione esecutiva degli interventi.

Le operazioni di campionamento dei terreni saranno eseguite in conformità a quanto previsto dall'Allegato 2 alla Parte IV del Titolo V del D.Lgs 152/06.

Da ogni sondaggio profondo saranno prelevati un minimo di 4 campioni di terreno (n. 1 campione di suolo superficiale, n. 1 campione in frangia capillare, n. 2 campioni intermedi di suolo profondo) per un totale di circa 496 campioni da inviare ad analisi per la determinazione dei seguenti parametri:

- Metalli (Antimonio, Arsenico, Cobalto, Cromo VI, Mercurio, Piombo, Rame, Selenio, Tallio, Zinco)
- Idrocarburi C > 12
- PCB (Totali e Congeneri)
- Fitofarmaci
- IPA
- Composti Alifatici Clorurati Cancerogeni
- Composti Alifatici Clorurati Non Cancerogeni
- Tetracloruro di carbonio
- Clorobenzeni
- Somma PCDD/F (conv. TEQ)

Le analisi relative ai composti organici clorurati, saranno eseguite solo laddove i test speditivi con lampade PID evidenzino la presenza di composti organici volatili (VOC) nei campioni prelevati o comunque in vicinanza di potenziali sorgenti identificate in sito.

Il materiale utilizzato nella formazione del campione sarà reso omogeneo servendosi dell'utilizzo di paletta per campionamento in acciaio inox ed una bacinella ricoperta da un telo in polietilene monouso, allo scopo di ottenere un campione rappresentativo dell'intero livello individuato.

Una volta prelevato, ciascun campione etichettato con il numero del campione, il numero del sondaggio, la profondità di prelievo e sarà conservato ad una temperatura pari a  $4 \pm 2$  °C fino alla consegna al laboratorio accreditato incaricato delle analisi.

La spedizione dei campioni verso il laboratorio avverrà in regime di catena di custodia, al fine di garantire la tracciabilità della fase di prelievo all'inizio delle determinazioni analitiche.

I risultati analitici saranno confrontati con i valori di CSC previsti per destinazione ad uso verde residenziale.

### 13.1.1.3. *Test di cessione*

Da ciascun sondaggio sarà prelevato un campione rappresentativo dell'intero spessore di materiale di riporto attraversato (qualora quest'ultimo risulti omogeneo), in corrispondenza di ciascuna perforazione; in caso di forti disomogeneità saranno prelevati campioni per ogni sub-orizzonte omogeneo.

Su tali campioni sarà condotto un test di cessione, secondo le metodiche indicate dal D.M. 5 febbraio 1998 (Allegato 3 "Criteri per la determinazione del test di cessione"). Il test sarà esteso a tutti gli analiti inorganici di cui alla Tabella 2, Allegato 5, Parte IV del D.Lgs. 152/06 e i risultati saranno confrontati con le CSC di cui alla medesima tabella. Sempre sull'eluato sarà determinato anche il valore di pH che si ritiene significativo per la valutazione della lisciviabilità dei materiali.

### 13.1.2. Realizzazione piezometri

Al fine di approfondire e delimitare con maggior dettaglio le sorgenti di contaminazione da solventi clorurati, Hg e CrVI riscontrate nelle acque sotterranee nella porzione centrale del sito, è stato previsto di integrare la rete piezometrica esistente inserendo due nuovi piezometri MW9 e MW10 in corrispondenza del transetto centrale (in prossimità di impianti potenzialmente critici quali l'ex polimeri clorurati ed il clorosoda).

Tale integrazione di indagine consentirà di definire con maggior precisione i contributi di contaminazione da parte delle sorgenti che incidono maggiormente sulla qualità delle acque nella porzione centrale.

I piezometri saranno realizzati in corrispondenza dei carotaggi effettuati al fine di definire le stratigrafie di dettaglio e di individuare eventuali livelli contaminati, sia negli orizzonti insaturi che in quelli saturi; questo permetterà di discretizzare, sulla verticale, la distribuzione della contaminazione e di indirizzare in modo più incisivo, puntuale ed efficace eventuali interventi.

In considerazione dei risultati dei campionamenti multilivello effettuati che hanno evidenziato come la contaminazione sia localizzata prevalentemente nella porzione superficiale dell'acquifero, i piezometri saranno approfonditi fino alla profondità di circa 40 m da p.c., allestiti con tubo piezometrico in PVC di diametro pari a 4" e fenestrati nell'orizzonte saturo approssimativamente tra 30 e 40 m da p.c.

Tutti i piezometri saranno ultimati mediante chiusino carrabile a protezione dell'opera stessa. Al termine delle operazioni verrà realizzato uno spurgo dei piezometri e un rilievo plani altimetrico dei nuovi piezometri atto a definire le quote di bocca pozzo. Tale rilievo sarà confrontato con quello effettuato precedentemente sui piezometri già esistenti al fine di permettere una correlazione tra le quote piezometriche dei piezometri stessi.

L'ubicazione indicativa dei suddetti piezometri è riportata nella Tavola 21 allegata al presente documento. L'ubicazione definitiva degli stessi sarà meglio valutata in fase esecutiva sulla base delle evidenze

riscontrate durante le attività di indagine ed in funzione delle esigenze logistiche legate all'operatività del cantiere di bonifica.

### 13.1.3. Monitoraggio acque di falda

Al fine di verificare la qualità delle acque di falda prima dell'avvio degli interventi di bonifica ed avere un punto di riferimento per la realizzazione degli interventi, si procederà ad effettuare una campagna di monitoraggio di baseline dall'intera rete di monitoraggio piezometrica e dalla rete di pozzi industriali presenti in sito.

Le acque sotterranee potranno essere campionate con diverse procedure, tra cui:

- campionamento con campionatore statico (bailer);
- campionamento dinamico con pompa sommersa a basso flusso.

In relazione ai piezometri multilivello installati in sito, prima di avviare la campagna di monitoraggio, saranno selezionati i livelli di interesse da sottoporre a prelievo mediante sistema di campionamento a doppio packer.

Le attività di monitoraggio consisteranno nell'esecuzione delle seguenti operazioni:

- rilievo freaticometrico;
- spurgo a basso flusso e rilievo dei parametri chimico-fisici;
- campionamento delle acque sotterranee e consegna dei campioni prelevati presso il laboratorio di analisi.

I campioni di acqua di falda saranno inviati presso laboratorio accreditato ACCREDIA per la determinazione dei seguenti parametri:

- Metalli (Arsenico, Mercurio, Cromo totale, Cromo VI, Piombo, Rame)
- Composti Alifatici Clorurati Cancerogeni
- Composti Alifatici Clorurati Non Cancerogeni
- Tetracloruro di carbonio
- Fitofarmaci
- PCB (totali e congeneri)
- Sommatoria PCDD/PCDF

### 13.1.4. Monitoraggio Soil Gas

Al fine di verificare le condizioni in sito prima degli interventi di bonifica e confermare i risultati del monitoraggio soil gas realizzato preliminarmente alla redazione dell'Analisi di Rischio, si prevede di effettuare una nuova campagna dalla rete di monitoraggio già realizzata (SG1-SG10) integrata con nuove sonde SG11 ed SG12 da installare in corrispondenza degli impianti ritenuti maggiormente critici in relazione ai percorsi di volatilizzazione.

Le postazioni per il monitoraggio dei gas interstiziali verranno installate in corrispondenza di due postazioni comprese nel piano di indagine integrativo. Le sonde Nesty Probe verranno installate con il tratto filtrante (di lunghezza pari a 30 cm circa) ad una quota compresa tra 1 e 2 m da p.c. Ogni postazione sarà corredata con chiusino metallico carrabile a protezione dell'opera stessa.

Il campionamento dei gas interstiziali sarà preceduto da un adeguato tempo di riequilibrio delle condizioni naturali del sito. Il campionamento potrà avvenire mediante Canister o Bottle Vac al fine di permettere l'analisi mediante metodice EPA TO-15 dell'intero spettro di composti volatili (VOC) inoltre si procederà al campionamento mediante fiale apposite, per la determinazione del mercurio volatile.

#### 13.1.5. Indagine Georadar

Come anticipato, l'obiettivo della campagna di rilievo georadar è l'individuazione e la mappatura di eventuali sottoservizi e strutture interrato (canali, cavidotti, tubazioni, serbatoi, vasche) che possano costituire potenziali vie di infiltrazione nel sottosuolo all'interno dell'area interessata dalla realizzazione delle opere di MISP.

I risultati dell'indagine consentiranno di valutare gli eventuali interventi di smantellamento e rimozione o di messa in sicurezza di strutture da adottare preliminarmente alla realizzazione ed al completamento delle opere di MISP previste nella porzione centrale del sito.

Il metodo georadar è un sistema di indagine del sottosuolo basato sulla riflessione delle onde elettromagnetiche con frequenza compresa tra 10 e 2000 MHz. A livello operativo consiste nell'invio nel terreno di impulsi elettromagnetici ad alta frequenza (radio frequenza) e nella misura del tempo impiegato dal segnale a ritornare al ricevitore dopo essere stato riflesso da eventuali discontinuità intercettate durante il suo percorso. Tali riflessioni sono causate in generale dal cambiamento delle proprietà elettriche del sottosuolo, dalla variazione del contenuto d'acqua e da cambiamenti litostratigrafici.

Nel caso in oggetto, le riflessioni possono essere prodotte da strutture, da vuoti presenti nel terreno (ipogei, cunicoli, ecc.), da elementi metallici e superfici di contatto tra strati differenti.

Il principio di funzionamento dello strumento è legato alla propagazione di un'onda elettromagnetica nel sottosuolo, basandosi sul fenomeno fisico di partizione dell'energia ad un'interfaccia tra due mezzi con diverse proprietà dielettriche. Infatti in corrispondenza di un'interfaccia fisica, l'onda elettromagnetica generata in superficie ed immessa nel sottosuolo per mezzo dell'antenna subisce un fenomeno di riflessione grazie al quale parte dell'energia ritorna verso la superficie.

Si adatterà l'utilizzo di un georadar multicanale poiché, essendo dotato da più antenne emittenti e riceventi grazie ad una singola scansione è possibile ottenere più sezioni 2D molto ravvicinate, con una copertura maggiore in termini di rilievo che comporta una riduzione dei tempi necessari all'indagine e degli errori legati all'interpolazione.

La campagna di indagine dovrà essere condotta attraverso strumentazione di adeguata potenza e risoluzione al fine di raggiungere la profondità d'esplorazione prevista pari a 4 m circa.

Si prevede di adattare lo strumento per essere spinto a mano vista la conformazione del tracciato e per poter mappare la maggior superficie possibile. L'unità di controllo e il display saranno collegati tramite un cavo al trasduttore. Operando in tal modo, i dati vengono visualizzati direttamente sullo schermo LCD a matrice attiva sottoforma di radargrammi a colori registrati su hard disk interno, per poi essere trasferiti al computer di elaborazione.

## 13.2. Test di trattabilità

I test di trattabilità sono prove di laboratorio finalizzate a verificare in tempi relativamente brevi l'efficacia di un trattamento su campioni di matrici ambientali (terreni e acque) prelevate direttamente in sito e ad orientare modalità e dosaggi per i successivi campi prova in sito.

Le prove saranno realizzate da laboratori e centri di ricerca specializzati, appositamente selezionati, e dovranno consentire di verificare che le assunzioni di progetto siano realistiche in termini di efficacia delle tecnologie proposte e di tempistiche previste dal progetto stesso.

I test di laboratorio effettuati forniranno quindi gli elementi per individuare processi, metodologie e dosaggi da applicare per i successivi campi prova in sito.

Per le modalità di esecuzione dei test si fa riferimento alla specifica tecnica presentata in All. 11 che descrive obiettivi e metodi delle principali prove di laboratorio previste per il sito in funzione delle tecnologie valutate come applicabili nell'ambito del Progetto di Fattibilità tecnico-economica.

Sulla base di tale specifica si prevede la realizzazione delle seguenti prove di trattabilità:

- prove di lavaggio terreni (soil washing);
- prove di stabilizzazione chimica terreni (soil stabilization);
- prove per la definizione della richiesta di naturale ossidante della matrice da trattare (Natural Oxydant Demand – NOD);
- prove di ossidazione chimica avanzata con Ozono e con Reagente di Fenton (chemical oxidation);
- prove di adsorbimento su carbone attivo e test di riduzione chimica e chimico-biologica con reagente a base di ferro metallico (chemical reduction).

Sulla base dei risultati ottenuti a seguito della realizzazione di tali prove, qualora i risultati delle prove di trattabilità non fossero soddisfacenti, potranno essere sviluppati ulteriori test con diverse metodologie di prova o tecnologie di bonifica non considerate nella prima fase.

## 13.3. Prove pilota

I campi prova in sito consentiranno di verificare l'efficacia delle tecnologie di bonifica su più larga scala, permettendo il corretto dimensionamento degli impianti e dei trattamenti full-scale, in relazione alle condizioni specifiche del sito nei quali saranno applicate.

Il numero e la tipologia dei campi prova sono stati definiti in funzione delle tecnologie definite come applicabili in sede di fattibilità e sulla base delle indicazioni dei test di trattabilità ove disponibili.

In questa sede si prevede pertanto la realizzazione dei seguenti campi prova in sito finalizzati alla verifica delle tecnologie di trattamento dei terreni superficiali e profondi:

- test pilota di lavaggio terreni (impianto pilota soil washing);
- test pilota di in situ soil stabilization;
- test pilota di ossidazione chimica in situ;

- test pilota di in situ soil flushing;
- test pilota di adsorbimento e chemical reduction (Trap&Treat).

Inoltre, in relazione agli interventi di adeguamento e ottimizzazione dei sistemi di messa in sicurezza e trattamento delle acque di falda si prevede di realizzare prove idrauliche (prove a gradini e di lunga durata a portata costante), con lo scopo di definire i parametri idraulici dell'acquifero anche in relazione ad una potenziale ottimizzazione dei livelli di emungimento.

Ulteriori campi prova potranno essere previsti in funzione dei risultati dei test di trattabilità e dei campi prova che saranno condotti.

### 13.3.1. Test di Soil Washing

Il test pilota di lavaggio consiste nel prelevare dal sito un adeguato campione rappresentativo di terreno e di sottoporlo ai processi propri di un impianto di Soil Washing.

Il test pilota avrà l'obiettivo di:

1. verificare la trattabilità dei diversi livelli stratigrafici identificati nell'ottica di valutare il riuso on-site;
2. individuare il taglio granulometrico ottimale da trattare tramite vagliatura a secco e successivo lavaggio;
3. definire dal punto di vista analitico con test di cessione e test sul tal quale le caratteristiche dei materiali ottenuti a seguito dei processi di vagliatura e lavaggio;
4. stimare le percentuali di materiali (distinti in base alla pezzatura) ottenuti a seguito dei processi di vagliatura e lavaggio;
5. definire le modalità tecnico-operative migliori per la gestione della torbida di lavaggio ed i risultati conseguibili, in modo da individuare i processi di trattamento più efficienti, le percentuali di riciclo del fluido di lavaggio, le caratteristiche del fluido esausto ed i relativi costi di gestione.
6. verificare la necessità di eseguire l'estrazione chimica dei contaminanti mediante l'aggiunta di appositi agenti estraenti;
7. verificare quali rese è possibile raggiungere e quali sono i consumi di acqua e di eventuali prodotti chimici;
8. definire le caratteristiche dell'impianto mobile/fisso di lavaggio.

Il test su scala pilota verrà realizzato mediante impianto di Soil Washing. La prova prevede il trattamento di un quantitativo minimo di 50 ton di terreno; la tipologia del fluido di lavaggio sarà stabilita sulla base dei risultati ottenuti a seguito delle prove di laboratorio.

L'impianto dovrà essere dotato al minimo delle seguenti sezioni:

- preparazione e pretrattamento mediante eliminazione delle componenti di pezzatura maggiore e disaggregazione delle zolle più compatte del terreno scavato;
- lavaggio del terreno per ottenere il trasferimento dei contaminanti dalla fase solida a quella liquida;
- separazione del terreno lavato dal fluido estraente;
- trattamento del fluido estraente (chimico-fisico).

A seguito del trattamento saranno prelevati campioni di terreno trattati per la verifica dell'efficienza di rimozione, da valutare anche in relazione alla differenziazione nelle frazioni granulometriche; saranno inoltre effettuate analisi chimiche del fluido di lavaggio.

Sulla base degli esiti del test pilota sarà possibile definire i criteri e la metodologia più adeguata per eseguire la selezione preliminare dei materiali da inviare a Soil Washing (cfr. paragrafo 9.3), i volumi del materiale da trattare, la capacità dell'impianto di lavaggio da utilizzare e la tipologia delle ulteriori unità di trattamento da utilizzare per il trattamento delle acque di lavaggio e dei fanghi.

### 13.3.2. Test di In Situ Soil Stabilization

Il test pilota di Soil Stabilization consisterà nell'esecuzione di prove di iniezione della miscela di stabilizzazione prescelta all'interno delle aree di intervento.

Nel caso specifico si prevede l'installazione di un campo prova in corrispondenza di uno dei poligoni individuati per l'applicazione full scale del trattamento, ovvero i poligoni rappresentati dai sondaggi C26e-C26c, C27 o C34.

Per la realizzazione del campo prova è prevista l'esecuzione di almeno una terna di perforazioni aventi diametro di 1000 mm circa da spingere fino alla profondità massima di progetto. L'intervento pilota consentirà di tarare i principali parametri di iniezione e resistenza del terreno consolidato al fine di confermare la metodologia di intervento e definire il dimensionamento del trattamento full scale.

### 13.3.3. Test di In Situ Chemical Oxidation

Il test pilota consisterà nell'esecuzione di prove di iniezione in situ e costituirà lo strumento essenziale per raccogliere le informazioni necessarie a verificare l'applicabilità del trattamento, definire i parametri operativi per l'implementazione dell'intervento full-scale e ad ottimizzare l'efficienza del sistema di trattamento selezionato.

Di seguito si forniscono alcune indicazioni che dovranno essere seguite durante la realizzazione della prova:

- il test pilota sarà eseguito in una zona rappresentativa delle condizioni dell'area di interesse;
- verrà iniettata la minima quantità di reagente in rapporto alla massa di contaminante presente e al consumo di reagente da parte della matrice terreno;
- sarà predisposto un piano di monitoraggio e campionamento al fine di verificare la diffusione dei reagenti e l'efficacia del trattamento.

La finalità primaria del test pilota sarà quella di raccogliere dati di campo per procedere all'ingegnerizzazione di dettaglio della bonifica full-scale. In particolare, sulla base dei risultati raccolti sarà possibile definire:

- modalità di esecuzione del trattamento full-scale (ROI - Radius of Influence), pressioni d'iniezione, concentrazione di soluzione ossidante, etc.;
- quantitativi di reagente da iniettare per metro lineare di perforazione considerando i contaminanti presenti in fase adsorbita e disciolta, oltre alle perdite di reagente dovute a reazioni con sostanze naturalmente presenti nel terreno (sostanza organica, carbonati, minerali, etc).

- efficienza della tecnologia nelle condizioni sito specifiche (tempistiche di trattamento);
- tassi di reazione dei reagenti e la persistenza nel sottosuolo, che potrebbero limitare il raggio di influenza effettivo delle applicazioni.

## Reagente selezionato

Per lo svolgimento delle prove, si prevede primariamente l'applicazione di ozono come agente ossidante. In funzione degli esiti delle prove di trattabilità effettuate si valuterà la possibilità di eseguire le prove mediante co-iniezione di H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> o di surfattanti per massimizzare l'efficacia complessiva del trattamento. Potrà inoltre essere valutata la realizzazione di ulteriori campi prova con diversi ossidanti che siano risultati potenzialmente efficaci per il trattamento della contaminazione in sito.

## Layout campo prova

Si prevede l'installazione di un campo prova all'interno dell'area individuata dai poligoni C26c- C26e. Per la realizzazione del campo prova è prevista l'installazione di:

- n. 3 punti di iniezione, del diametro di 3", profondi ca. 32 m da p.c. (comunque tali da intercettare la porzione satura) e fenestrati in corrispondenza dello spessore di trattamento (indicativamente da 25 m fino a fondo foro);
- n. 3 punti di monitoraggio, uno dei quali posto al centro del campo prova e i restanti circa 5 m a monte ed a valle dello stesso, realizzati con le stesse caratteristiche dei punti di immissione.

Il sistema di iniezione sarà costituito da un container marino (previsto indicativamente da 15', dimensioni 4500 x 2450 x H2200), al cui interno saranno alloggiati:

- n. 1 compressore;
- n. 1 concentratore di ossigeno;
- n. 1 impianto di produzione ozono;
- n. 1 serbatoio di contatto in AISI 316 per la dissoluzione dell'ozono nella fase acquosa;
- n. 1 filtro a carbone attivo per l'abbattimento dell'ozono nell'aria di sfiato;
- n. 1 pompa di rilancio della soluzione ai punti di immissione;
- valvole di regolazione e strumentazione di misura;
- quadro di alimentazione e controllo.

L'impianto di produzione dell'ozono avrà una capacità minima nominale di 120 g/h di O<sub>3</sub>;

Saranno inoltre installate tutte le tubazioni di collegamento tra impianto e punti di iniezione e tutte le valvole/strumentazione necessarie al controllo del sistema di iniezione.

In Tav. 11 è presentato lo schema meccanico con i requisiti minimi dell'impianto pilota; in Tav. 13 il layout indicativo del campo prova.

## Modalità di esecuzione

Si riportano qui di seguito le principali assunzioni e i dati di dimensionamento preliminare per l'intervento:

- ROI: 2 m
- Spessore d'intervento: 4 m
- N. punti iniezione: 3
- Volume di suolo complessivo: ca. 150 m<sup>3</sup>
- Massa di suolo trattata: ca. 250 ton
- Volume dei vuoti da saturare (10%): 15 m<sup>3</sup>
- TOD (ipotesi): 2 kg/ton
- Dose Ozono: 500 kg

Sulla base di tali assunzioni si prevede una tempistica di circa tre mesi per il completamento della prova.

### **Modalità installazione pozzi di iniezione e monitoraggio**

I piezometri di iniezione e di monitoraggio saranno installati previa perforazione di sondaggi geognostici a carotaggio continuo fino ad attraversare lo spessore di terreno interessato dall'intervento e successivo alesaggio del foro.

Il completamento dei piezometri di iniezione e di monitoraggio sarà realizzato mediante tubi ciechi e filtri in acciaio da 3". I pozzi saranno realizzati in acciaio inox AISI 304 per la porzione cieca ed AISI 316 per la porzione fenestrata, a contatto con il reagente ossidante. Nell'intercapedine foro/tubo, verrà predisposto un manto drenante con ghiaietto lavato ( $\phi=2\div 4$  mm) da circa 1 m sopra il "top" del tratto filtrato sino a fondo foro.

Superiormente al ghiaietto, dopo assestamento, verrà posizionato uno strato di sabbia (10/20 cm per evitare l'espansione della bentonite sul dreno) e quindi un tampone impermeabile di bentonite granulare successivamente idratata. Al di sopra di detto tampone e fino al piano campagna il tubo verrà reso solidale con il terreno mediante una miscela cementizia e la messa in posa di un chiusino metallico carrabile.

Successivamente alla realizzazione i piezometri verranno opportunamente spurgati fino ad ottenimento di acque chiare e priva di particelle solide in sospensione.

### **Piano di monitoraggio del test pilota**

Le attività di monitoraggio dell'intervento pilota saranno finalizzate a:

- verificare la capacità del sistema di veicolare, nelle condizioni operative, la soluzione ossidante all'interno dell'area di intervento, in modo da realizzare il contatto fisico fra contaminazione e reagente;
- verificare l'efficienza della tecnologia nelle condizioni sito specifiche;
- confermare il mantenimento delle condizioni di sicurezza durante lo svolgimento della prova.

Per verificare efficacia ed efficienza dell'intervento nonché controllare l'eventuale desorbimento o mobilitazione di contaminanti saranno utilizzati come punti di controllo i 3 piezometri di monitoraggio installati per il campo prova.

Prima dell'inizio delle iniezioni, al fine di individuare le condizioni di partenza sulla base delle quali verrà valutata l'efficacia della tecnologia, saranno svolte le seguenti attività di monitoraggio dai punti di controllo selezionati (*monitoraggio di background*):

- misura del livello piezometrico della falda;
- misura di campo dei parametri chimico-fisici (pH, conducibilità, ossigeno disciolto, potenziale redox, temperatura);
- rilievi di campo per misurare ossigeno (O<sub>2</sub>), anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e composti organici volatili (VOC) a testa pozzo sui piezometri di controllo.

Durante il corso delle operazioni di iniezione saranno monitorati con strumentazione portatile i seguenti parametri:

- livello piezometrico della falda;
- parametri chimico-fisici delle acque di falda (pH, temperatura, conducibilità, DO, ORP);
- misurazione dei parametri O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, VOC e condizioni di esplosività (LEL) a testa pozzo sui piezometri di controllo.

La lettura diretta dei parametri permetterà di valutare e monitorare in tempo reale l'andamento dell'intervento e valutare il permanere delle condizioni di sicurezza per gli operatori.

Per la verifica dell'intervento è prevista l'esecuzione delle seguenti campagne di monitoraggio:

Ante operam: n. 1 campagna di background

Fase di esecuzione: n. 1 campagna a cadenza quindicinale

Post operam: n. 1 campagna mensile nei tre mesi successivi

I campioni di acqua di falda prelevati saranno sottoposti alle seguenti analisi di laboratorio:

- Metalli (As, Hg, Cr totale, Cr VI, Pb, Cu)
- Composti Alifatici Clorurati Cancerogeni e Non Cancerogeni
- Fitofarmaci
- PCB totali (sommatoria congeneri)
- Sommatoria PCDD/PCDF

### **Sondaggi di verifica**

Dopo circa 3 mesi dall'iniezione sarà realizzato n. 1 sondaggio per verificare l'efficacia dell'azione di ossidazione ubicato all'interno dell'area campo prova. Sarà prelevato n. 1 campioni di terreno a profondità comprese tra 25 e 29 m da p.c. da sottoporre alle seguenti analisi chimiche di laboratorio:

- Metalli (As, Hg, Cr totale, Cr VI, Pb, Cu)
- Composti Alifatici Clorurati Cancerogeni e Non Cancerogeni
- Fitofarmaci
- PCB totali (sommatoria congeneri)

- Sommatoria PCDD/PCDF

### 13.3.4. Test di In Situ Soil Flushing

Il test pilota di Soil Flushing dovrà consentire di raccogliere le informazioni essenziali a verificare l'applicabilità del trattamento in sito e definire i parametri operativi necessari per l'ingegnerizzazione di dettaglio e per l'implementazione full-scale dell'intervento.

In particolare i risultati raccolti durante le prove dovranno consentire di verificare:

- modalità di esecuzione del trattamento full-scale e parametri di dimensionamento (ROI - Radius of Influence, pressioni d'iniezione, volumi di soluzione da iniettare, etc.);
- caratteristiche dei sistemi di immissione, prelievo e trattamento acque;
- caratteristiche del fluido di lavaggio;
- efficienza della tecnologia nelle condizioni sito specifiche e tempistiche di trattamento;
- qualità delle acque di lavaggio e capacità di recupero.

Per il dimensionamento definitivo del test pilota dovranno essere condotte apposite prove che consentano di valutare la distribuzione dei valori di conducibilità idraulica nel mezzo saturo (prove di pompaggio) e insaturo (prove infiltrometriche e prove Lefranc in foro).

#### **Layout campo prova**

Si prevede l'installazione di un campo prova in corrispondenza del poligono individuato per l'applicazione full scale del trattamento (C34), costituito da:

- n.1 punto di iniezione del diametro di 3", con fenestrazione compresa nell'intervallo 18-22 m da p.c. (potrà essere utilizzati a tal fine i nuovi piezometri MW5-32 ed MW5-40);
- n. 3 punti di monitoraggio per la valutazione del raggio di influenza delle immissioni a distanza di circa 1, 3 e 5 m dal punto di immissione (gli ultimi due costituiti da piezometri di nuova realizzazione fenestrati da circa 20 m da p.c. fino al livello saturo).

Il test pilota sarà eseguito in condizioni di totale sicurezza, pertanto resterà attivo il sistema di emungimento immediatamente a valle dell'area di trattamento (pozzo P4) il quale consente un'efficace azione di contenimento sul fronte interessato dall'intervento.

In Tav. 17 è presentato lo schema meccanico con i requisiti minimi dell'impianto pilota; in Tav.20 il layout indicativo del campo prova.

#### **Modalità di esecuzione**

Il sistema di iniezione sarà attrezzato all'interno di un container marino, all'interno del quale saranno alloggiati:

- n. 1 serbatoio di accumulo fluido di lavaggio;
- n. 1 pompa di immissione;

- n. 1 quadro elettrico di alimentazione e controllo.

Saranno inoltre installate tutte le tubazioni di collegamento tra impianto e punti di immissione e tutte le valvole/strumentazione necessarie alla gestione e controllo del sistema di iniezione.

Come fluido di lavaggio sarà utilizzata l'acqua depurata mediante i sistemi di trattamento presenti in sito o in alternativa acqua di rete; l'eventuale utilizzo di additivi sarà valutato in caso di scarsa efficienza del lavaggio con acqua.

In fase di dimensionamento preliminare, la portata di immissione del fluido è stata stimata sulla base del volume di suolo da trattare, della porosità efficace e del tempo di sostituzione del volume dei pori.

Si riportano qui di seguito le principali assunzioni e i dati di dimensionamento preliminare per l'intervento:

- ROI: 2 m
- Spessore d'intervento: 8 m
- N. punti iniezione: 1
- Volume di suolo complessivo: ca. 100 m<sup>3</sup>
- Massa di suolo trattata: ca. 170 ton
- Volume dei vuoti da saturare (10%): 10 m<sup>3</sup>

La portata minima di acqua di lavaggio è stimata pari a circa 10 m<sup>3</sup>/h.

Ai fini della gestione del sistema si prevede di effettuare la prova di lavaggio per fasi successive, realizzando diversi cicli di flussaggio interrotti da pause piuttosto che una immissione continua. Saranno quindi effettuate più prove di lavaggio di diversa durata, seguite dai cicli di recupero del volume di fluido immesso.

### **Piano di monitoraggio del test pilota**

Durante le fasi di funzionamento del sistema dovrà essere effettuato un piano di monitoraggio finalizzato a verificare il corretto funzionamento del sistema e la sua efficacia in termini di effettiva rimozione dei contaminanti.

In particolare, per ciascun ciclo di lavaggio, dovranno essere monitorati e registrati i seguenti parametri:

- volumi di acqua iniettata e prelevata per ciascun ciclo;
- concentrazione e la massa degli eventuali reagenti utilizzati;
- avanzamento del fronte umido (eventuale afflusso di acqua nei piezometri di controllo);
- livelli freaticometrici nei punti di immissione e controllo;
- concentrazione di contaminanti nelle acque di falda nei punti di monitoraggio all'interno del campo prova e nelle acque estratte dal pozzo P4;
- stima della massa complessiva di inquinanti recuperata.

Prima dell'inizio delle iniezioni, al fine di individuare le condizioni di partenza sulla base delle quali verrà valutata l'efficacia della tecnologia, saranno svolte le seguenti attività di monitoraggio dai punti di controllo selezionati e dal pozzo di messa in sicurezza P4 (*monitoraggio di background*).

Al termine di ciascun ciclo di iniezione e lavaggio si procederà a prelevare campioni di acque di falda dagli stessi punti per la verifica dell'efficienza dell'azione di lavaggio dei suoli. I campioni saranno sottoposti ad analisi chimiche per la ricerca dei seguenti parametri:

- Metalli (Arsenico, Mercurio, Cromo totale, Cromo VI, Piombo, Rame)
- Composti Alifatici Clorurati Cancerogeni e Non Cancerogeni
- Fitofarmaci
- PCB totali (sommatoria congeneri)
- Sommatoria PCDD/PCDF

### **Sondaggi di verifica**

Al termine delle prove di flussaggio sarà realizzato n. 1 sondaggio di verifica al fine di verificare l'efficacia dell'azione di lavaggio. Il sondaggio sarà effettuato a carotaggio continuo e ubicato a distanza di circa 1,5 m dal punto d'iniezione. Saranno prelevati indicativamente n. 3 campioni di terreno a profondità comprese tra 20 e 30 m da p.c. da sottoporre alle seguenti analisi chimiche di laboratorio:

- Metalli (Arsenico, Mercurio, Cromo totale, Cromo VI, Piombo, Rame)
- Composti Alifatici Clorurati Cancerogeni e Non Cancerogeni
- Fitofarmaci
- PCB totali (sommatoria congeneri)
- Sommatoria PCDD/PCDF

#### **13.3.5. Test pilota di adsorbimento e chemical reduction (Trap&Treat)**

Il test pilota in oggetto consentirà di valutare la fattibilità dell'implementazione della tecnologia in sito (validando i risultati dei test di laboratorio) e verificare attraverso le campagne di monitoraggio delle acque sotterranee post-iniezione l'effettivo instaurarsi dei fenomeni di adsorbimento, degradazione abiotica e biologica mediante analisi dei markers determinati durante i test di trattabilità

Il test consentirà inoltre di valutare il dimensionamento dell'intervento in termini di dosaggio di prodotto ed i parametri operativi dell'applicazione (portate e pressioni di iniezione) e l'efficienza dell'applicazione in termini di distribuzione del prodotto e quantitativi richiesti.

### **Layout campo prova**

Si prevede l'installazione di un campo prova in corrispondenza dell'area individuata dai poligoni C26c-C26e, caratterizzata da una contaminazione prevalente da PCB, Clorobenzeni e Diossine.

Il campo prova sarà costituito da un'area di trattamento di 5x5 m all'interno della quale saranno realizzati i punti di iniezione secondo una griglia regolare di 2,5 m circa.

Per il monitoraggio dell'intervento saranno selezionati n. 3 piezometri di controllo (appositamente installati o selezionati tra quelli esistenti) di cui uno a monte, uno all'interno della zona di trattamento e uno a valle,

fessurati nella porzione più superficiale dell'acquifero, indicativamente alle stesse profondità coperte dalle iniezioni (e comunque a profondità non superiori a 40 m da p.c.).

## **Modalità di esecuzione**

L'intervento prevede l'applicazione nel sottosuolo del prodotto BOS100® attraverso circa 6-8 punti di iniezione a profondità comprese tra 25 e 35 m da p.c. L'applicazione sarà effettuata con sonda di tipo Geoprobe in modalità direct push.

Le iniezioni saranno eseguite ad intervalli di circa 50-60 cm; in considerazione della geologia locale il volume di slurry da iniettare per ciascun intervallo e' previsto pari a circa 90-100 l.

## **Piano di monitoraggio del test pilota**

Prima dell'iniezione del prodotto sarà realizzato un campionamento di baseline in corrispondenza dei tre piezometri di monitoraggio selezionati.

Successivamente all'esecuzione dell'immissione del prodotto dovranno essere realizzate le seguenti campagne di verifica:

- n. 1 campagna di monitoraggio immediatamente a seguito dell'iniezione;
- n. 6 campagne a cadenza quindicinale successivamente al completamento dell'iniezione.

I campioni prelevati saranno sottoposti ad analisi chimiche per la ricerca dei seguenti parametri:

- Metalli (Arsenico, Mercurio, Cromo totale, Cromo VI, Piombo, Rame)
- Composti Alifatici Clorurati Cancerogeni e Non Cancerogeni
- Fitofarmaci
- PCB totali (sommatoria congeneri)
- Sommatoria PCDD/PCDF

In Tavola 13 è presentato il layout indicativo del campo prova.

### **13.3.6. Test di Soil Vapour Extraction**

I test pilota di SVE saranno finalizzati alla verifica della presenza delle frazioni volatili nel sottosuolo ed al dimensionamento dei parametri operativi necessari per l'ingegnerizzazione di dettaglio e per l'implementazione full-scale dell'intervento.

I risultati raccolti durante le prove consentiranno di verificare i parametri di dimensionamento del sistema di aspirazione (ROI, pressioni, portate d'aria estratta, etc.), tassi di recupero di VOC e caratteristiche dei sistemi di trattamento gas estratti. I test saranno realizzati mediante prove di aspirazione a gradini di depressione e test di durata. Si procederà inoltre ad effettuare test speditivi di SVE da un numero selezionato di pozzi/piezometri accessibili, al fine di valutare l'eventuale presenza di frazioni volatili, nei terreni all'intorno dei punti stessi.

## **Layout campo prova**

Si prevede l'installazione di un campo prova costituito da almeno n.1 punto di estrazione e n. 3 punti di monitoraggio per la valutazione del raggio di influenza ottimale. La profondità e la fenestrazione dei pozzi di aspirazione sarà definita in base alle caratteristiche della sorgente individuata.

## **Modalità di esecuzione**

L'impianto pilota, attrezzato all'interno di un container marino, sarà costituito dai seguenti elementi principali:

- sezione di aspirazione (soffianti);
- sezione di trattamento vapori (filtri a carbone attivo);
- strumentazione di misura pressioni e portate;
- quadro elettrico di alimentazione e controllo.

Saranno inoltre installate tutte le tubazioni di collegamento tra impianto e punti di aspirazione e tutte le valvole/strumentazione necessarie alla gestione e controllo del sistema.

## **Piano di monitoraggio del test pilota**

Prima dell'inizio del test e durante le prove (a gradini e di durata) sarà effettuato un piano di monitoraggio finalizzato a verificare il corretto funzionamento del sistema e la sua efficacia in termini di effettiva rimozione dei contaminanti. In particolare saranno effettuate misure di campo per il rilievo di:

- depressione indotta sul pozzo di estrazione e sui pozzi di monitoraggio;
- flusso di aria estratta;
- concentrazione di VOC, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> nel flusso di aria estratto.

Saranno inoltre realizzati prelievi di campioni del flusso di aria estratta dal sistema e dell'aria in uscita dalla sezione di trattamento, mediante pompa a basso flusso e fiale a carbone attivo, per la verifiche analitiche necessarie e per la stima dei tassi di rimozione.

## 14. PIANO DI GESTIONE DELLE MATERIE

I materiali prodotti dagli interventi di bonifica proposti in questa fase, riguarderanno essenzialmente le operazioni di scavo selettivo dei terreni superficiali che saranno destinati a:

- Trattamento mediante Soil Washing (SW) e riutilizzo in sito previa verifica di conformità, per i reinterri/rimodellamenti delle aree scavate.
- Incapsulamento in sito dei materiali fini e dei fanghi di lavaggio.

Durante le attività preliminari agli scavi e durante le attività di scavo vere e proprie si potranno inoltre generare le seguenti tipologie di materiali:

- Sfalci di vegetazione;
- Macerie da demolizione;
- Ferro e acciaio;
- Rifiuti liquidi eventualmente presenti all'interno di sottoservizi interrati

La gestione di tali materiali sarà effettuata nel pieno rispetto di tutte le normative vigenti in materia.

Gli sfalci di grosse dimensioni derivanti dalle attività di decespugliamento verranno caricati su cassoni scarrabili e conferiti presso la più vicina isola ecologica.

Il materiale ottenuto dalle demolizioni, se privo di amianto, verrà ridotto sul posto tramite pinza in pezzatura idonea ad essere trasportato. Verrà caratterizzato e poi smaltito in idonei impianti di destino o riutilizzato in sito come materia prima seconda o confinato in sito.

Il ferro separato dovrà essere raccolto e conferito presso impianti di recupero autorizzati.

Qualora invece venisse rinvenuto materiale contenente amianto si attuerà la procedura seguente:

- Comunicazione alla Committente e alla Direzione Lavori;
- Messa in sicurezza dei manufatti;
- Perimetrazione dell'area interessata dal materiale contenente amianto per interdire l'accesso a personale non autorizzato/abilitato;
- Comunicazione agli Enti competenti e trasmissione del piano di lavoro;
- Avvio delle operazioni di rimozione.
- Confezionamento, carico, trasporto e smaltimento presso impianti esterni al sito autorizzati.

Poiché all'interno delle aree oggetto di scavo sono presenti "strade" in asfalto, nel corso degli scavi potrà essere necessario effettuare una scarifica e demolizione del pacchetto stradale. I materiali di risulta da tali attività verranno caratterizzati e caricati su bilici per essere esitati dal sito in impianti off-site autorizzati.

Nel caso in cui si rinvenisse rifiuto liquido nelle tubazioni interrato si procederà alla sua aspirazione tramite pompe e/o autospurgo e al suo confezionamento in cisterne e/o cisternette ove verrà caratterizzato ai fini del successivo smaltimento presso impianti esterni al sito.

In considerazione delle profondità di scavo previste e delle litologie presenti non si prevede la necessità di aggottare acque di falda o stagnanti.

L'attività di scavo verrà organizzata in base alla mappa delle contaminazioni riscontrate nell'area e alla definizione dei lotti omogenei e funzionali definiti dalla caratterizzazione in banco.

A seguito della verifica dell'idoneità tecnica e della caratterizzazione qualitativa, le terre di scavo trattate/i materiali di sopravaglio/eventuali materiali da recupero da demolizioni potranno essere utilizzate nei rinterri.

Nell'ambito del piano di gestione delle terre dovrà essere garantita la tracciabilità dei terreni movimentati e compilata una scheda tecnica contenente le seguenti informazioni:

- Data
- Cumulo di provenienza
- Descrizione modalità e area di reinterro

Sulla base delle valutazioni effettuate, per i rinterri delle aree soggette a scavo per restituzione a CSC verde-residenziali/commerciali-industriali (o a CSR laddove non risultassero traguardabili i valori di CSC), si prevede di utilizzare:

- circa 60.000 mc di terreni trattati tramite Soil Washing e ricollocabili in sito.
- circa 50.000 mc di materiale da cava certificato.

I rinterri verranno effettuati per strati dello spessore massimo di 100 cm opportunamente compattati tramite passaggio ripetuto con mezzi meccanici.

Al fine di garantire la totale tracciabilità dei materiali scavati saranno garantite la netta separazione delle diverse tipologie di materiale generato dallo scavo, l'area di provenienza e la profondità.

In base a quanto previsto dal D.Lgs. 81/2008 tutti i presidi e le procedure di sicurezza che saranno adottate in fase di scavo, saranno descritte compiutamente nel Piano Operativo di Sicurezza redatto dall'impresa appaltatrice sulla base del PSC predisposto dal CSP/CSE.

## 15. COMPATIBILITÀ AMBIENTALE DEGLI INTERVENTI PROPOSTI

Il presente Capitolo ha lo scopo di definire una lista dei principali impatti sulle matrici ambientali, paesaggistiche e antropiche determinati dall'esecuzione del Progetto e di identificare, altresì, le relative misure di mitigazione.

Ogni impatto individuato è stato analizzato riportando le seguenti informazioni:

- Sorgente dell'impatto: attività di Progetto che può generare l'impatto;
- Area di influenza;
- Stima preliminare della significatività dell'impatto potenziale: identifica la tipologia dei potenziali impatti derivanti dalla realizzazione delle opere previste. La significatività dell'impatto è stata stimata sulla base delle informazioni disponibili al presente stadio progettuale e in accordo ai pre-esistenti livelli di qualità noti per le matrici interessate;
- Misure di mitigazione/monitoraggi: sintesi delle misure di mitigazione individuate in questa fase preliminare;

Per quanto riguarda la definizione dell'area di influenza degli impatti sono stati adottati i seguenti criteri:

- Scala locale: impatti che influiscono localmente sulle componenti ambientali, socio-economiche e culturali. Gli impatti a livello locale sono quelli limitati all'area di lavoro e alle aree direttamente interessate come i cantieri e le aree limitrofe;
- Scala regionale/provinciale: impatti che influiscono a livello regionale o provinciale sulle componenti prese in considerazione. Indicativamente sono classificati come regionali gli impatti la cui area di influenza raggiunga un'estensione approssimativa dell'ordine delle decine di chilometri;
- Scala nazionale: impatti che influiscono a livello nazionale sulle componenti considerate. Indicativamente sono classificati come nazionali gli impatti la cui area d'influenza raggiunga un'estensione approssimativa dell'ordine delle centinaia di chilometri.

Le seguenti componenti ambientali sono state analizzate nella definizione preliminare degli impatti:

- Atmosfera;
- Ambiente idrico;
- Suolo e sottosuolo e uso del suolo;
- Rifiuti;
- Rumore e vibrazioni;
- Emissioni odorigene;
- Biodiversità e conservazione della natura;
- Paesaggio;

- Illuminazione notturna;
- Ambiente antropico.

La tabella di seguito sintetizza i potenziali impatti sulle componenti ambientali sopra citate.

Tabella 53: Quadro sinottico delle ricadute ambientali dell'esecuzione attività di bonifica

Componente	Sorgente/causa di impatto	Area di influenza e potenziali recettori	Stima preliminare della significatività dell'impatto potenziale	Misure gestionali, misure di mitigazione previste
<b>Atmosfera</b>	Impatti derivanti dalla polvere generata dall'allestimento del cantiere e delle piste, dal passaggio dei veicoli nelle aree di cantiere e nelle strade non asfaltate, dalle attività di scavo del suolo dei terreni contaminati (profondità circa 3 m), di impermeabilizzazione superficiale delle aree contaminate e sistemazione finale	Locale: in genere nelle immediate vicinanze della fascia di realizzazione degli interventi  I recettori includeranno i lavoratori interni ed esterni al sito, popolazione residente, eventuali specie animali e vegetali presenti nelle aree limitrofe, ecc. Non sono presenti nelle immediate vicinanze del sito acque superficiali (f. Mella a 800 m) o percorsi di interesse paesaggistico che possano subire influenze significative.	L' impatto dovuto alle attività di scavo dei terreni è potenzialmente significativo vista la superficie e la quantità dei terreni interessati. È comunque di natura temporanea e reversibile. Le misure di mitigazione elencate riducono efficacemente l'entità degli impatti.	Implementazione di buone pratiche (limiti di velocità per i veicoli all'interno e all'esterno del sito, lavaggio delle ruote e del sottosacca dei mezzi di cantiere, utilizzo di piste prestabilite soggette a bagnatura, nebulizzazione del fronte scavo, copertura di depositi e cumuli delle terre escavate in attesa di caratterizzazione, utilizzo di mezzi a cassone ribaltabile con cassoni coperti a tenuta per il trasporto di materiale esternamente al cantiere, ecc);  Implementazione di Piani di Monitoraggio meteo-climatico e Monitoraggio ambientale della qualità aria/ambiente a tutela della salute dei lavoratori e anche dell'ambiente circostante al cantiere e associate misure gestionali;  Formazione HSE e sensibilizzazione ambientale per tutto il personale di sito per la corretta implementazione delle procedure finalizzate alla riduzione della dispersione di polveri

Componente	Sorgente/causa di impatto	Area di influenza e potenziali recettori	Stima preliminare della significatività dell'impatto potenziale	Misure gestionali, misure di mitigazione previste
	<p>Impatti dovuti alle emissioni in atmosfera generate da macchinari e veicoli utilizzati in cantiere e per il trasferimento di materiale/terre/rifiuti all'interno, da e per il Sito (escavatori, bulldozer, camion, auto, motopompe, eventuali generatori, ecc.)</p>	<p>Essenzialmente locale: aree di lavoro, aree adiacenti e aree lungo il percorso definito per gli automezzi;</p> <p>I recettori includeranno i lavoratori, la popolazione residente, eventuali specie animali e vegetali, beni architettonici lungo il percorso degli automezzi, ecc.</p>	<p>Tale impatto, di natura temporanea, è potenzialmente significativo sia sulle aree di lavoro sia su scala locale vista l'ampiezza dell'area interessata, il numero dei trasporti effettuati, la concomitanza di diversi interventi e la durata del lavoro.</p>	<p>Mantenimento in perfetta efficienza dei macchinari utilizzati mediante manutenzione periodica;</p> <p>Procedure operative per il corretto utilizzo dei macchinari (es. spegnimento del motore anziché la permanenza in <i>stand-by</i>, riduzione della velocità dei mezzi);</p> <p>Definizione dei percorsi dei veicoli impiegati per il trasporto materiali da/per il sito privilegiando percorsi lontani dalle zone sensibili e densamente popolate;</p> <p>Il trattamento in situ dei suoli, ove possibile, riduce il numero dei mezzi circolanti fuori dal sito;</p> <p>Formazione HSE per tutto il personale di sito in materia di sensibilizzazione ambientale (corretto utilizzo di macchinari e autoveicoli)</p>
<p><b>Fattori climatici</b></p>	<p>Impatti dalle emissioni climalteranti in atmosfera generati da macchinari e veicoli, condizionatori, eventuali gas dai materiali abbancati</p>	<p>Globale, gas serra (ad esempio CO<sub>2</sub>)</p>	<p>Tale impatto, verosimilmente poco significativo, è comunque estremamente ridotto dalle misure di gestione che saranno adottate</p>	<p>Utilizzo preferibile di mezzi a bassa emissione CO<sub>2</sub>;</p> <p>Sosta a motore spento e non <i>stand by</i> a motore acceso;</p> <p>Uso di condizionatori ermeticamente chiusi e loro</p>

Componente	Sorgente/causa di impatto	Area di influenza e potenziali recettori	Stima preliminare della significatività dell'impatto potenziale	Misure gestionali, misure di mitigazione previste
				adeguata manutenzione in conformità alle norme vigenti.
<b>Acque (rete idrica di stabilimento)</b>	Prelievi di acqua durante le attività di cantiere (es. irrorazione delle piste di cantiere, del fronte scavo e dei cumuli di terreno, servizi igienici, aree lavaggio ruote mezzi, acque per preparazioni miscele cementizie, ecc.)	Locale	L'impatto previsto è di significativo ma di natura temporanea	<p>Minimizzazione delle quantità di acqua utilizzata durante le attività. In cantiere sarà sempre utilizzata l'acqua della rete di stabilimento;</p> <p>Installazione di un contaltri all'allaccio per monitorare i consumi da cantiere;</p> <p>Formazione HSE per tutto il personale di sito in materia di minimizzazione degli sprechi delle risorse idriche.</p>
	Impatti derivanti dalle attività di soil washing	Locale	L'impatto previsto è di media-bassa entità (prelievi iniziali di acqua dalla rete) e di natura temporanea	Raccolta dell'acqua torbida di lavaggio in vasca fuori terra e trattamento per successivo riutilizzo nel ciclo di lavaggio
<b>Sottosuolo/Acque sotterranee</b>	Contaminazione acque sotterranee con oli e combustibili accidentalmente sversati da macchinari impiegati nell'allestimento del cantiere e durante le attività di bonifica.	Locale	Per tale impatto potenziale le azioni di mitigazione e le precauzioni adottate minimizzano il rischio di incidenti	<p>Stoccaggio oli e combustibili in contenitori appositi posizionati in aree dedicate;</p> <p>Procedure di gestione specifiche per l'utilizzo delle sostanze in cantiere;</p> <p>Piano di prevenzione e controllo degli sversamenti accidentali di sostanze chimiche;</p> <p>Presenza nelle aree di cantiere di <i>kit</i> di intervento in caso di sversamenti;</p>

Componente	Sorgente/causa di impatto	Area di influenza e potenziali recettori	Stima preliminare della significatività dell'impatto potenziale	Misure gestionali, misure di mitigazione previste
				<p>Controllo giornaliero dello stato dei mezzi da utilizzarsi prima dell'inizio attività e al termine per assicurare assenza perdite;</p> <p>Formazione HSE per tutto il personale di sito in materia di sensibilizzazione ambientale (gestione dei combustibili) e di prevenzione e risposta agli sversamenti accidentali di sostanze utilizzate in cantiere.</p>
	<p>Interferenza con la falda acquifera (qualità/quantità) determinata dalle ulteriori indagini per la progettazione definitiva degli interventi (realizzazione piezometri), dalla costruzione e attività delle opere di MISE e Pump &amp; Treat, e dalle opere di impermeabilizzazione afferenti alla bonifica dei suoli</p>	<p>Locale</p>	<p>L'impatto è significativo.</p> <p>A fronte di un'evidente interferenza con la falda:</p> <p>le opere afferenti alle acque sotterranee hanno l'obiettivo di contenere la diffusione della contaminazione o rimuoverla;</p> <p>le opere di impermeabilizzazione afferenti al suolo/sottosuolo, impedendo l'infiltrazione superficiale, hanno lo scopo di impedire che i composti presenti nel terreno insaturo possano venire in contatto con le acque di infiltrazione meteorica e possano essere lisciviati fino a raggiungere la falda freatica sotterranea.</p>	<p>Ove si verifichi il ristagno delle acque meteoriche, è previsto l'aggettamento delle acque che si accumulano negli scavi e invio a smaltimento in impianto esterno autorizzato;</p> <p>Piano di monitoraggio della qualità e quantità dell'acqua di falda in corso d'opera</p>
<b>Suolo</b>	Lavori di allestimento cantiere e	Locale, nell'ambito del cantiere	Tale impatto è potenzialmente	Interventi di ripristino, riprofilatura e

Componente	Sorgente/causa di impatto	Area di influenza e potenziali recettori	Stima preliminare della significatività dell'impatto potenziale	Misure gestionali, misure di mitigazione previste
	relativa occupazione di suolo, scavi (di terreni contaminati e non), scotici, impermeabilizzazione aree, etc.		significativo. Si può trattare sia di interventi permanenti sia di interventi temporanei (durata del cantiere).	sistemazione a verde delle aree di cantiere; Piani di gestione delle terre e rocce da scavo.
	Scavi afferenti alle attività di bonifica (profondità massima di circa 3 m)	Locale, nell'ambito del sito	Tale impatto è significativo vista l'ampiezza dell'area interessata e permanente. A fronte di un'evidente interferenza con la componente suolo, le attività di scavo afferenti al suolo/sottosuolo hanno l'obiettivo di asportare i terreni contaminati per successivo loro trattamento.	Bonifica in situ e riutilizzo dei suoli insitu, ove possibile; Interventi di ripristino, riprofilatura e sistemazione a verde delle aree oggetto di interventi di bonifica; Piani di gestione delle terre e rocce da scavo.
	Contaminazione con oli/sostanze chimiche accidentalmente sversati da macchinari impiegati nel cantiere	Locale, limitato all'area interessata dallo sversamento accidentale	Tale impatto è a bassa significatività; le azioni di prevenzione e mitigazione riducono il rischio e l'entità dell'impatto.	Stoccaggio oli, combustibili, lubrificanti e sostanze chimiche in contenitori dotati di sistemi di contenimento secondario in aree pavimentate dedicate  Procedure di gestione specifiche per l'utilizzo delle sostanze chimiche in cantiere  Piano di prevenzione e controllo degli sversamenti accidentali di sostanze chimiche  Presenza nelle aree di cantiere di <i>kit</i> di intervento in caso di sversamenti di oli e sostanze chimiche  Piano di monitoraggio della qualità

Componente	Sorgente/causa di impatto	Area di influenza e potenziali recettori	Stima preliminare della significatività dell'impatto potenziale	Misure gestionali, misure di mitigazione previste
	<p>Piazzole di caratterizzazione: aree in cui i terreni contaminati saranno temporaneamente depositati ai fini della caratterizzazione</p> <p>Piazzole A1-A6 di accumulo terreno</p>	Locale	Tale impatto è potenzialmente significativo visti i quantitativi di rifiuti/terreni contaminati rimossi, trasportati e abbancati temporaneamente	<p>delle acque di falda;</p> <p>Formazione HSE per tutto il personale di sito in materia di sensibilizzazione ambientale (gestione delle sostanze chimiche e dei combustibili) e di prevenzione e risposta agli sversamenti accidentali di sostanze utilizzate in cantiere.</p> <p>Procedura interna per la gestione dei terreni scavati nel corso dei lavori di bonifica</p> <p>Piani di gestione delle terre e rocce da scavo</p>
<b>Rumore e Vibrazioni</b>	Impatti acustici e da vibrazioni generate dal movimento delle macchine e dei veicoli, dalle attività di scavo e dall'impianto di Soil Washing	<p>Locale, a eccezione del rumore/vibrazioni determinate dal passaggio di camion da e per il Sito</p> <p>I recettori acustici comprenderanno la popolazione residente, lavoratori, siti culturali/ /edifici storici, aree di interesse archeologico storici, altre attività antropiche nell'area, eventuali specie animali, etc.</p>	Tale impatto è potenzialmente significativo sebbene di natura temporanea.	<p>Uso di macchine conformi alle direttive CE in materia di emissione acustica ambientale</p> <p>Esecuzione delle attività nelle sole ore diurne. Ove per esigenze contingenti vi sarà la necessità di operare di notte, le operazioni riguarderanno attività poco rumorose o urgenti;</p> <p>Ove applicabile, mitigazione delle emissioni dai macchinari più rumorosi per mezzo di schermature acustiche;</p> <p>Limitazione delle velocità dei mezzi di cantiere dentro e fuori dal Sito;</p> <p>Programma di manutenzione</p>

Componente	Sorgente/causa di impatto	Area di influenza e potenziali recettori	Stima preliminare della significatività dell'impatto potenziale	Misure gestionali, misure di mitigazione previste
				<p>periodica dei macchinari, in modo tale da mantenere gli stessi in stato di perfetta efficienza e con lo stato più basso di emissione sonora</p> <p>Uso dei Dispositivi di Protezione Individuale (DPI) per i lavoratori</p> <p>Formazione HSE per tutto il personale di sito in materia di sensibilizzazione ambientale (corretto utilizzo di macchinari e autoveicoli al fine di minimizzare le emissioni acustiche).</p>
<b>Emissioni odorigene</b>	Movimentazione dei terreni contaminati	<p>Locale</p> <p>I recettori comprenderanno la popolazione residente, lavoratori, fauna, altre attività antropiche nell'area, ecc.</p>	Tale impatto, verosimilmente di lieve entità, in quanto percepito ma senza alcun rischio per la salute umana, di natura temporanea e reversibile, sarà significativamente ridotto dall'adozione di specifici interventi	<p>In questa fase si prevedono:</p> <p>Monitoraggi ambientali (stazioni mobili lungo fronte scavo e fisse perimetrali al confine);</p> <p>Teli di protezione degli scavi a fine giornata di cantiere</p> <p>Utilizzo di "cannon fog" durante le operazioni di scavo e riprofilatura per l'abbattimento delle polveri e delle eventuali emissioni odorigene.</p>
<b>Biodiversità e conservazione della natura</b>	Perdita diretta di habitat e specie di Direttiva e frammentazione di habitat all'interno di siti appartenenti alla rete Natura 2000	Locale, Provinciale/Regionale	Assenza di impatto	Non applicabile
	Perdita diretta di habitat e specie	Locale	Visto il livello di antropizzazione dell'area, non si reputa che tale	Riduzione della velocità dei mezzi circolanti nelle piste di cantiere

Componente	Sorgente/causa di impatto	Area di influenza e potenziali recettori	Stima preliminare della significatività dell'impatto potenziale	Misure gestionali, misure di mitigazione previste
	Attività di progetto che generano interferenze con la vegetazione e le specie animali e vegetali (emissioni sonore, illuminazione notturna, presenza antropica/traffico, movimentazione sedimenti, ecc)	Locale	Visto il livello di antropizzazione dell'area, non si reputa che tale impatto sia significativo. Di natura temporanea	Come descritto per gli impatti sulla qualità dell'aria, il suolo, il rumore e le vibrazioni; Gestione delle polveri, delle emissioni in atmosfera e dei rifiuti al fine di minimizzare gli impatti su flora, fauna ed ecosistemi.
<b>Paesaggio</b>	Impatti visivi e paesaggistici temporanei determinati dalle aree di lavoro (eventuale illuminazione notturna, sbancamenti, cumuli, piste, segnalazioni di cantiere, etc.)	Locale I recettori comprendono essenzialmente la popolazione residente	L'impatto del cantiere, sebbene potenzialmente significativo su scala locale, interessa un'area attualmente degradata e a uso prevalentemente industriale ed è di natura temporanea.	Ripristino delle aree utilizzate in fase di cantiere come previsto dal progetto Minimizzazione delle aree coinvolte dal cantiere
<b>Illuminazione notturna</b>	Non saranno effettuate lavorazioni notturne pertanto l'impatto sarà determinato esclusivamente dall'illuminazione di sicurezza del cantiere.	Locale Vista l'ubicazione e le caratteristiche dell'area il principale recettore è costituito dalla popolazione residente	Tale impatto è verosimilmente non significativo, temporaneo e reversibile.	Le lavorazioni in orario notturno saranno effettuate solo qualora strettamente necessario, utilizzando corpi illuminanti schermati per limitare la diffusione di luce evitando fasci luminosi orizzontali o verso l'alto.
<b>Ambiente antropico</b>	Aspetti occupazionali	Locale, Provinciale	L'impatto sugli aspetti occupazionali è potenzialmente significativo; Le attività connesse alla realizzazione degli interventi potranno comportare domanda di servizi e attività collaterali per le	NA Impatto positivo

Componente	Sorgente/causa di impatto	Area di influenza e potenziali recettori	Stima preliminare della significatività dell'impatto potenziale	Misure gestionali, misure di mitigazione previste
			imprese locali.	
	Traffico	Locale, Provinciale, Regionale	L'impatto dovuto agli automezzi circolanti è potenzialmente significativo	Definizione dei percorsi dei veicoli impiegati per il trasporto materiali da/per il sito privilegiando percorsi lontani dalle zone sensibili e densamente popolate; Il trattamento in situ dei suoli, ove possibile, riduce il numero dei mezzi circolanti fuori dal sito.
	Aree di interesse archeologico	Locale	Tale impatto non si può al momento escludere ma sarà significativamente ridotto dalle misure gestionali previste	Nelle fasi successive della progettazione saranno effettuati alcuni approfondimenti atti a mitigare le eventuali interferenze: esame dei carotaggi, se conservati e visionabili, o almeno delle schede descrittive delle stratigrafie, al fine di individuare eventuali depositi di interesse archeologico; sulla base dell'esame visivo delle carote disponibili verificare l'opportunità di assistenza archeologica durante i lavori di scavo previsti.

Tabella 54: Quadro sinottico delle ricadute ambientali al completamento delle attività di bonifica

Componente	Sorgente/causa di impatto	Area di influenza/recettori	Stima della significatività dell'impatto potenziale	Misure gestionali, misure di mitigazione adottate/ previste e monitoraggi
<b>Atmosfera</b>	Impatto derivante dalle attività di bonifica dei suoli e impermeabilizzazione	Locale I potenziali recettori comprendono i lavoratori che seguiranno la manutenzione del sito, la popolazione residente in zona, eventuale flora e fauna nelle aree di maggiore prossimità all'area	Tale impatto è significativo e positivo in quanto escluderà in via definitiva la possibilità di propagazione di polveri di terreno contaminato.	NA Impatto positivo
<b>Fattori climatici</b>	Impatti dalle emissioni climalteranti in atmosfera generati da veicoli coinvolti nelle attività di manutenzione	Globale, gas serra (ad esempio CO <sub>2</sub> )	Tale impatto è trascurabile	
<b>Ambiente idrico</b>	Impatti sulla qualità chimico-fisica delle acque dovuta allo scarico del sistema di raccolta delle acque in acque superficiali	Locale	Sarà predisposta la comunicazione necessaria all'adeguamento dell'autorizzazione attuale per il punto di scarico delle acque meteoriche.	La rete di collettamento delle acque meteoriche sarà sottoposta a verifica periodica e pulizia per mantenerla sempre in perfetta efficienza.
	Uso dell'acqua	Locale	L'unico utilizzo dell'acqua in fase di esercizio sarà unicamente quello relativo al presidio e gestione dell'opera. L'impatto è pertanto non significativo	Non previste.
<b>Suolo e sottosuolo</b>	Impatti sulla qualità chimico-fisica del suolo/sottosuolo determinati dalla conclusione delle attività	Locale	Tale impatto è significativo e positivo. Il completamento delle opere di impermeabilizzazione annullerà le infiltrazioni dell'acqua ed escluderà la possibilità di propagazione degli inquinanti nel suolo/sottosuolo	Piani di Monitoraggio idrogeologico, idrochimico e pedologico.

Componente	Sorgente/causa di impatto	Area di influenza/recettori	Stima della significatività dell'impatto potenziale	Misure gestionali, misure di mitigazione adottate/ previste e monitoraggi
	Impatto da gestione dei rifiuti prodotti in fase di manutenzione	Locale	Tale impatto è ritenuto poco significativo.	I rifiuti prodotti dalle attività di manutenzione saranno confezionati adeguatamente e gestiti secondo la normativa vigente.
<b>Rumore e Vibrazioni</b>	Impatti acustici e da vibrazioni generati dal movimento delle macchine e dei veicoli impiegati nelle attività di manutenzione ordinaria/straordinaria	Locale, I recettori acustici comprenderanno i lavoratori coinvolti nelle operazioni di manutenzione e impiegati sul sito, la popolazione residente, eventuale fauna nelle zone più prossime al sito e altre attività antropiche nell'area, ecc	Tale impatto è ritenuto trascurabile in considerazione dell'esigua entità delle attività di manutenzione previste.	<p>Uso di macchine conformi alle direttive CE in materia di emissione acustica ambientale</p> <p>Rispetto dei limiti di velocità dei mezzi coinvolti nelle operazioni di manutenzione delle opere;</p> <p>Programma di manutenzione periodica macchinari;</p> <p>Uso dei Dispositivi di Protezione Individuale (DPI) per i lavoratori se necessario da DVR;</p> <p>Formazione HSE per tutto il personale di sito in materia di sensibilizzazione ambientale (corretto utilizzo di macchinari e autoveicoli al fine di minimizzare le emissioni acustiche).</p>
<b>Emissioni odorigene</b>	Non sono previste sorgenti di emissioni odorigene	NA	NA	NA
<b>Biodiversità e conservazione della natura</b>	Impatto positivo sulla qualità dell'aria	Locale	Tale impatto è significativo e positivo in quanto la bonifica esclude la possibilità del propagarsi degli inquinanti in aria e, di conseguenza, migliora lo stato di qualità degli habitat	NA

<b>Componente</b>	<b>Sorgente/causa di impatto</b>	<b>Area di influenza/recettori</b>	<b>Stima della significatività dell'impatto potenziale</b>	<b>Misure gestionali, misure di mitigazione adottate/ previste e monitoraggi</b>
<b>Paesaggio</b>	Impatti visivi e paesaggistici determinati dalla presenza dell'opera in assetto finale	Locale I recettori comprendono essenzialmente la popolazione residente e i fruitori dell'area	L'impatto è positivo in quanto l'opera, una volta completata la sistemazione dell'area con sistemazione a verde, pur mantenendo una forte connotazione antropica, andrà ad inserirsi con minore contrasto nel paesaggio locale.	Impatto positivo
<b>Ambiente antropico</b>	Effetti dell'opera sulla salute umana	Locale Provinciale	L'impatto sulla salute umana è di natura positiva in quanto il completamento delle opere escluderà la possibilità di ulteriore diffusione di acque di falda contaminate, di polveri e vapori dai terreni contaminati.	

## 16. PIANO DI MONITORAGGIO E COLLAUDI

### 16.1. Monitoraggio delle polveri e della qualità dell'aria

Nelle aree di scavo e nelle zone di caratterizzazione dei materiali (aree di deposito intermedio) saranno installati sistemi fissi di monitoraggio di qualità dell'aria che prevedranno la misura dei parametri COV (Composti Organici Volatili), Mercurio, PCB, Fitofarmaci, Polveri Totali e Diossine.

Inoltre, per la misurazione dei COV e del mercurio, sarà condotta a cura di tecnici specializzati, in ciascuna area di scavo, con le frequenze descritte al paragrafo 16.1.2, una rilevazione di campo mediante strumento portatile PID (fotoionizzatore) e rilevatore portatile di mercurio.

Per quanto concerne le postazioni fisse di monitoraggio, le stesse saranno posizionate a piano campagna in corrispondenza del bordo degli scavi a quota pari a 150 cm dal piano campagna.

La strumentazione da utilizzare per il monitoraggio è descritta al par. 16.1.1. In particolare tali presidi di monitoraggio della qualità dell'aria saranno installati con le seguenti modalità:

1. Aree di scavo: ciascuna area di scavo sarà dotata di almeno n. 1 stazione fissa per il monitoraggio del parametro polveri e n. 1 campionatore passivo per i parametri COV, Mercurio, PCB e Fitofarmaci;
2. Area di gestione terreni (SW): l'area sarà dotata di n. 1 stazione fissa di monitoraggio del parametro polveri e n. 1 campionatore passivo per la determinazione del parametro COV, Mercurio, PCB e Fitofarmaci;
3. Aree di deposito intermedio: ciascuna macroarea sarà dotata di n. 1 stazione fissa per il monitoraggio del parametro polveri e n. 1 campionatore passivo per la determinazione del parametro COV, Mercurio, PCB e Fitofarmaci.

Il monitoraggio sopra descritto sarà effettuato unicamente in fase di cantiere, con le modalità descritte al paragrafo 16.1.2.

#### 16.1.1. Metodologie di rilievo

La strumentazione che sarà utilizzata per garantire il monitoraggio di qualità dell'aria, durante la fase di cantiere, presso le aree di scavo e presso gli impianti di trattamento è la seguente:

1. Campionatori passivi (tipo Radiello) ubicati a bordo scavo per la rilevazione dei COV. Il campionamento verrà effettuato al fine di ottenere una misura delle concentrazioni del parametro suddetto durante l'attività giornaliera (ossia sulle 8 ore lavorative previste). I filtri dei campionatori saranno quindi posizionati all'inizio della giornata lavorativa e ritirati alla fine della stessa, e saranno quindi inviati ad analisi presso un laboratorio esterno accreditato.
2. Campionatori a fiala attivi per il monitoraggio di mercurio, fitofarmaci e PCB. Il campionamento verrà effettuato al fine di ottenere una misura delle concentrazioni del parametro suddetto durante l'attività giornaliera (ossia sulle 8 ore lavorative previste). I filtri dei campionatori saranno quindi posizionati all'inizio della giornata lavorativa e ritirati alla fine della stessa, e saranno quindi inviati ad analisi presso un laboratorio esterno accreditato.
3. Fotoionizzatore portatile (PID) per la misura strumentale diretta in campo del parametro COV nel corso dell'intera durata giornaliera delle attività di scavo.
4. Rilevatore di vapori di mercurio (Hg).

5. Stazioni fisse per il monitoraggio del parametro Polveri, costituite da pompe di campionamento ad alto volume (mod. Tecora Charlie o equivalente) atte al prelievo dei campioni per le successive analisi da effettuarsi a cura di un laboratorio esterno accreditato. Anche in questo caso il campione sarà rappresentativo dell'attività giornaliera (8 ore lavorative previste).

## 16.1.2. Monitoraggio del parametro COV

Per quanto concerne il parametro COV (campionatori passivi di tipo radiello), le attività di monitoraggio ambientale saranno effettuate con le seguenti frequenze:

1. campionamento del bianco, per un periodo di 8 ore, prima dell'avvio dei lavori di scavo;
2. campionamento, sempre della durata della giornata lavorativa (8 ore), da eseguirsi con cadenza mensile per la durata degli scavi.

I radielli, saranno posizionati, in corrispondenza del bordo di scavo e su appositi sostegni a quota pari a 150 cm dal piano campagna. Tali sistemi di campionamento garantiscono la captazione dei composti volatili eventualmente aerodispersi tramite adsorbimento su filtri. Tali filtri, in accordo alle modalità sopra descritte, saranno pertanto prelevati da tecnici specializzati ed una volta imballati opportunamente, trasferiti ad un laboratorio esterno accreditato che provvederà alle relative determinazioni analitiche

Gli analiti da ricercare sono sintetizzati nella seguente tabella.

**Tabella 55: COV da ricercare**

<b>Set analitico COV</b>
Benzene
Etilbenzene
Propilbenzene
Isopropilbenzene
Stirene
Toluene
m-Xilene, o-Xilene, p-Xilene,
1,2,4 trimetilbenzene
n-Pentano, n-Esano, n-Eptano, n-Ottano, n-Nonano, n-Decano, n-Undecano, n-Dodecano,
Cicloesano
Metilcicloesano
Metilciclopentano
Isottano
Naftalene
ETBE, MTBE
Isopropanolo
triclorometano
tetracloruro di carbonio

I COV totali saranno calcolati come sommatoria delle singole molecole individuate. Il limite di rilevabilità analitica per ogni molecola è pari a 5 µg/campione, pari a circa 0,15 mg/m<sup>3</sup> su 8 ore di posizionamento del radiello.

Inoltre, come già descritto al paragrafo 16.1 durante tutta la durata del cantiere di scavo, i COV saranno monitorati anche in maniera diretta mediante fotoionizzatore portatile (PID). I dati acquisiti dal PID, saranno riportati dal tecnico specializzato su un registro cartaceo e su supporto informatico.

### 16.1.3. Monitoraggio dei parametri Mercurio Fitofarmaci e PCB

Per quanto concerne i parametri:

1. Mercurio
2. Fitofarmaci
3. PCB

per ogni postazione fissa individuata (costituita da sistemi di pompaggio attivo e cattura su fiale specifiche), le attività di monitoraggio ambientale saranno effettuate con le seguenti frequenze:

1. campionamento del bianco, per un periodo di 8 ore, prima dell'avvio dei lavori di scavo;
2. campionamento, sempre della durata della giornata lavorativa (8 ore), da eseguirsi con cadenza mensile per la durata del cantiere di scavo.

I sistemi di campionamento, saranno posizionati, in corrispondenza del bordo di scavo e su appositi sostegni a quota pari a 150 cm dal piano campagna. Tali sistemi di campionamento garantiscono la captazione dei composti volatili e semivolatili eventualmente aerodispersi tramite adsorbimento su filtri specifici. Tali filtri, in accordo alle procedure di campionamento previste e con le modalità sopra descritte, saranno pertanto prelevati da tecnici specializzati ed una volta imballati opportunamente, trasferiti ad un laboratorio esterno accreditato che provvederà alle relative determinazioni analitiche.

Gli analiti da ricercare sono sintetizzati nella seguente tabella.

**Tabella 56: Parametri da ricercare**

<b>Set analitico COV</b>
Mercurio
Fitofarmaci (Alachlor e Atrazina)
PCB
Diossine

Parallelamente al monitoraggio mediante PID sarà eseguito il monitoraggio con analizzatore portatile di mercurio (Hg) per verificare la presenza di vapori di mercurio in aria ambiente. Come per i dati istantanei rilevati con fotoionizzatore portatile, anche i dati relativi al monitoraggio istantaneo di mercurio, saranno riportati dal tecnico specializzato su di un registro cartaceo e su supporto informatico.

## 16.1.4. Monitoraggio polveri

Per quanto concerne il parametro PTS (Polveri Totali Sospese), il monitoraggio sarà effettuato mediante postazioni fisse caratterizzate da pompe di campionamento ad alto volume, per il prelievo dei campioni e successivo invio ad un laboratorio esterno accreditato per le determinazioni analitiche. Il suddetto monitoraggio, inoltre, sarà esteso anche alla rilevazione del parametro PM10 e verrà effettuato conformemente alla norma UNI EN 12341:2013 per la frazione PM10 e al D.P.C.M. 28/03/1983 per il parametro Polveri Totali.

Per il parametro Polveri Totali il prelievo prevedrà la sola filtrazione dell'aria tramite aspirazione forzata, per il PM10, il prelievo dell'aria sarà eseguito mediante aspirazione forzata su di un filtro posto a valle di un sistema di ugelli che effettuano il "taglio" della frazione di interesse.

La successiva analisi presso un laboratorio esterno accreditato prevedrà la determinazione gravimetrica delle polveri depositate sul filtro.

La frequenza di campionamento prevista per ciascuna postazione fissa sarà la seguente:

1. campionamento del bianco, per un periodo di 8 ore, prima dell'avvio dei lavori di scavo;
2. campionamento, sempre della durata della giornata lavorativa (8 ore), da eseguirsi con cadenza mensile per la durata del cantiere di scavo.

## 16.2. **Collaudo degli interventi**

### 16.2.1. Collaudo degli scavi

Di seguito si sintetizzano gli accertamenti analitici a cui saranno sottoposte le aree oggetto dello scavo di terreni.

Il collaudo delle aree di scavo sarà eseguito rispettando la procedura prevista dal Protocollo ISPRA, adottata anche per il protocollo operativo del Sito di Interesse Nazionale di Porto Marghera. Inoltre in linea con quanto previsto dal D.lgs. 152/06 e s.m.i., il collaudo delle aree di scavo sarà elaborato attraverso l'analisi eseguita sulla frazione granulometrica inferiore a 2 mm.

Relativamente alle analisi da eseguirsi sulla frazione inferiore a 2 mm, saranno ricercati i parametri investigati durante le fasi di caratterizzazione con particolare riferimento ai contaminanti indice del sito. Si prevede pertanto di sottoporre i campioni prelevati in campo alla determinazione analitica dei parametri identificati al paragrafo 6.2. I risultati saranno confrontati con i limiti previsti dal D.Lgs. 152/06 e s.m.i. per la specifica destinazione d'uso prevista dal risviluppo dell'area (Tab. 1, Col. A o B, All. 5, Parte IV) e con le relative CSR.

In seguito all'asporto del terreno verrà eseguito un campionamento del fondo scavo e delle pareti con lo scopo di verificare che gli strati di suolo in posto non siano interessati dall'inquinamento.

Per il fondo scavo verrà prelevato un campione rappresentativo di un'area non superiore ai 100 m<sup>2</sup>, dove il campione sarà ottenuto dalla miscelazione di 10 aliquote prelevate sulla base di una griglia regolare sull'area. Eventualmente si prevede di prelevare campioni puntuali, laddove evidenze stratigrafiche lo consiglino.

In presenza di pareti scavo, sarà prelevato un campione composito (parete/settori di parete) ottenuto dalla miscelazione di più aliquote su superfici non superiori ai 50 m<sup>2</sup>.

Nel caso in esame, verranno seguite particolari raccomandazioni segnalate dalla Provincia di Milano 2004:

- a. Visto che il sito in questione è interessato dall'implementazione di un'analisi di rischio e dunque è possibile identificare valori obiettivo di CRA (Concentrazione Residua Ammissibile) diversificati per il terreno superficiale e profondo, allora, oltre al numero di campioni normalmente previsto verrà analizzato almeno un dato relativo al primo metro di profondità dal piano campagna ("suolo superficiale")
- b. Considerando che la funzione ultima dell'area dello stabilimento è ricreativa/area parco, per essere cautelativi si disporrà di dati specifici del primo metro di terreno;
- c. L'intervento prevede un fondo scavo con diverse profondità, dunque per il fondo scavo ogni superficie a profondità diversa verrà considerata come un singolo fondo scavo; inoltre per le pareti, verrà considerata come parete ogni singola superficie con sviluppo planare;

In merito agli analiti da ricercare in fase di verifica degli interventi, sulla abse delle linee guida della Provincia di Milano, verranno misurate le concentrazioni delle sostanze per le quali si sia riscontrato un superamento del valore limite durante la fase di caratterizzazione.

Il collaudo del fondo scavo e delle pareti sarà mirato alla verifica del raggiungimento degli obiettivi di bonifica sito-specifici calcolati mediante l'analisi di rischio per il suolo superficiale SS (fino a 1 m da p.c.) e per suolo profondo SP (oltre 1 m da p.c.).

In funzione del caso in esame dove si prevede che la porzione di sottosuolo interessata dall'intervento di scavo sia caratterizzata da litologia uniforme e contaminazione omogenea per pareti e fondo scavo, si propone la seguente procedura, per fondo scavo:

1. individuazione di celle di 100 m<sup>2</sup>;
2. individuazione di 10 punti di campionamento e prelievo di 10 campioni per ciascuna cella, rappresentativi del comparto SS o SP;
3. formazione di un campione composito ottenuto dalla miscelazione delle 10 aliquote;
4. confronto della concentrazione misurata per il campione composito (SS o SP) con i corrispondenti obiettivi di bonifica sito-specifici per l'intervento.

Per le pareti:

5. individuazione di celle di 50 m<sup>2</sup>;
6. individuazione di 5 punti di campionamento e prelievo di 5 campioni per ciascuna cella, di cui almeno 2 tra 0 e 1 m da p.c. (SS) e 3 per SP (>1 m da p.c.);
7. formazione di un campione composito per cella omogenea e per comparto (SS o SP) ottenuto dalla miscelazione delle 5 aliquote;
8. confront della concentrazione misurata per il campione composito (SS o SP) con i corrispondenti obiettivi di bonifica sito-specifici per l'intervento.

Per quanto riguarda la presenza di VOC saranno effettuati test speditivi mediante lampade PID (fotoionizzatore), e laddove da tale test risulti la presenza di composti volatili sarà rispettata la procedura

di analisi prevista dal protocollo. Nello specifico le lampade PID emettono fotoni altamente energetici nell'intervallo spettrale VUV. Questi fotoni ionizzano ogni gas con un potenziale di ionizzazione inferiore rispetto all'energia dei fotoni, dove durante il processo vengono generati ioni di carica positiva. Se il processo di ionizzazione nella cella del campione si svolge nel campo elettrico compreso tra due elettrodi, si genera una corrente misurabile proporzionale alla concentrazione di gas. Le lampade PID consentono di eseguire procedimenti efficienti, convenienti e immediatamente utilizzabili per misurare i composti organici volatili e altri gas con concentrazioni nell'intervallo dalle ppm alle ppb.

In ogni caso per limitare la volatizzazione, nella formazione del campione da predisporre per l'analisi dei composti volatili devono essere ridotti i tempi di esposizione all'aria dei materiali. Per queste ragioni il trasferimento sarà rapido.

Gli interventi sulle sorgenti profonde saranno soggetti a collaudo mediante la verifica della loro corretta esecuzione, come da specifiche di progetto esecutivo; per questi interventi, il prelievo e l'analisi di terreni di fondo scavo e/o delle pareti serviranno alla eventuale stima della massa residuale. In ogni caso, anche a fronte della permanenza di contaminazione residuale, gli interventi di impermeabilizzazione superficiale garantiranno comunque l'interruzione di tutti i percorsi di esposizione e della lisciviazione in falda.

## 16.2.2. Collaudo delle impermeabilizzazioni

### 16.2.2.1. *Controlli in fase di scelta e qualificazione del materiale*

Prima della messa in opera dei materiali, sia naturali che artificiali (geosintetici), costituenti il pacchetto impermeabile dovranno essere condotti tutti i controlli necessari a verificare la rispondenza dei prodotti alle rispettive specifiche tecniche. In particolare, dovranno essere verificati tutti gli elementi che garantiscono l'impermeabilità e l'isolamento del sistema, senza trascurare gli altri componenti che contribuiscono a preservarne nel tempo l'efficienza.

In particolare, ciascun fornitore dei singoli componenti dovrà fornire tutte le specifiche tecniche, e la documentazione necessaria ad attestarne la rispondenza ai requisiti richiesti, ovvero a verificarne in linea generale ma non esaustiva:

- strato di regolarizzazione: caratteristiche meccaniche e di compattazione attestate mediante prove di laboratorio e prove in situ e certificazione della provenienza del materiale;
- geomembrane: caratteristiche tecniche rispondenti alle norme di riferimento (spessore, massa volumica, contenuto in nerofumo, resistenza a rottura, allungamento a rottura, resistenza allo snervamento, allungamento a snervamento, resistenza al punzonamento statico (CBR), resistenza al punzonamento dinamico, resistenza a lacerazione, stress cracking, stabilità dimensionale a caldo, permeabilità al vapor d'acqua, etc.). Per la verifica delle caratteristiche della geomembrana dovranno essere fornite tutte le certificazioni del produttore, le specifiche tecniche del materiale, i risultati di eventuali controlli qualità e il certificato di prova di ciascun rotolo;
- geotessili: buone caratteristiche di durevolezza e compatibilità chimica, oltre che di resistenza meccanica (fibra, massa areica, resistenza a trazione longitudinale, deformazione a carico massimo longitudinale, resistenza a trazione trasversale, resistenza al punzonamento statico (CBR), resistenza al punzonamento dinamico, durabilità, etc.);
- strato drenante: nel caso sia di tipo naturale (ghiaia e sabbia) o di recupero (frantumato), qualifica e provenienza del materiale ed eventuali verifiche analitiche; nel caso sia di tipo artificiale (georeti e

geocompositi drenanti), le caratteristiche tecniche (massa areica, spessore, resistenza a trazione longitudinale, deformazione a carico massimo longitudinale, trasmissività longitudinale, etc.) oltre che il possesso di inerzia chimica totale, imputrescibilità, inattaccabilità da parti di roditori e micorganismi, insensibilità agli agenti atmosferici e all'acqua salmastra, stabilità ai raggi ultravioletti ottenuta mediante additivi quantitativi di nerofumo.

- strato terreno di protezione e superficiale: caratteristiche attestate mediante prove di laboratorio (analisi granulometrica, contenuto idrico, compattazione, etc.). Dovrà inoltre essere verificata l'assenza di clasti spigolosi che potrebbero danneggiare gli strati sottostanti e, se la copertura ha una destinazione d'uso ad aree verdi, anche il valore di pH (valori ottimali compresi tra 6,5 e 7,5) e di materia organica (compresa tra il 5 e il 20%).

#### 16.2.2.2. Controlli in corso d'opera sui singoli materiali, sul confezionamento e sulla posa

I controlli in corso d'opera hanno lo scopo di verificare la rispondenza degli interventi sia in termini di idoneità dei materiali sia di corretta esecuzione dei lavori.

In linea generale il primo elemento da considerare è la preparazione del piano di posa, in particolare il substrato di copertura dovrà essere privo di irregolarità ed adeguatamente compattato, in funzione delle specifiche progettuali e alla destinazione d'uso.

In particolare, prima della messa in opera dei teli impermeabili, dei geotessili di protezione e degli strati drenanti artificiali occorrerà assicurarsi che le procedure di imballaggio, trasporto e movimentazione non abbiano danneggiato il materiale; i rotoli dovranno essere riconoscibili attraverso un apposito contrassegno di identificazione che ne illustri le specifiche tecniche e dovranno essere stoccati in un luogo riparato dagli agenti atmosferici e coperti da teli opachi per evitare l'esposizione diretta ai raggi UV.

Inoltre, ciascuno strato dovrà essere posato solo dopo aver accertato, anche mediante l'esecuzione di prove di controllo, l'idoneità dello strato sottostante.

In linea generale e non esaustiva per ciascun strato occorrerà:

- strato di regolarizzazione: verificare lo spessore (indicativamente non inferiore a 0,5 m), la rispondenza del materiale alle specifiche tecniche richieste (eventualmente mediante prove di carico su piastra, densità in sito e analisi granulometrica) e che venga compattato in modo ottimale.
  - geomembrane: certificare l'integrità e verificare l'idoneità delle operazioni di posa e di saldatura dei teli, oltre che la rispondenza del materiale alle specifiche tecniche fornite dal produttore.

La geomembrana dovrà essere accompagnata, per ogni fornitura, dalla scheda tecnica e dalla dichiarazione di conformità del produttore in relazione alla specifica fornitura.

La disposizione dei teli dovrà minimizzare il numero delle giunture in quanto rappresentano le linee di debolezza dell'intero sistema di impermeabilizzazione. La sovrapposizione tra teli adiacenti non dovrà essere inferiore a 15 cm.

Durante le operazioni di messa in opera, dovrà essere prelevato un campione di geomembrana ogni 10.000 m<sup>2</sup> di materiale per l'esecuzione delle seguenti prove:

- spessore;
- resistenza a rottura;

- allungamento a rottura;
- resistenza a punzonamento.

I risultati dovranno essere confrontati con i valori specificati dal fornitore della geomembrana, al fine di verificarne l'assoluta corrispondenza.

Tutte le saldature tra i teli costituenti lo strato impermeabile dovranno essere collaudate in presenza della Direzione Lavori secondo un protocollo redatto in fase di Progettazione Esecutiva dall'Appaltatore, il quale dovrà redigere anche il verbale di collaudo. La saldatura dovrà essere realizzata con accessori e tecniche specifiche da personale qualificato. L'affidabilità delle giunture dovrà essere controllata attraverso l'esecuzione di test su giunture di prova (2 per giornata di lavoro), test non distruttivi e test distruttivi.

- geotessili di protezione: verificare che durante la posa la sovrapposizione tra teli adiacenti sia di almeno 20 cm, al fine di garantire la continuità dei teli.

Dal materiale posato dovranno essere prelevati alcuni campioni (uno ogni 20000 m<sup>2</sup> e comunque in numero non inferiore a 2) per essere sottoposti alle seguenti prove:

- determinazione della massa areica;
- spessore a 20kPa;
- resistenza a punzonamento (CBR).

I risultati ottenuti dovranno essere rispondenti alle specifiche tecniche fornite dal produttore.

Le giunture tra teli adiacenti non dovrebbero presentare fili o graffette.

A stesura completata occorrerà assicurarsi che i teli non siano esposti al diretto passaggio di mezzi meccanici, prima della messa in opera degli strati successivi.

- strato drenante: nel caso sia naturale, verificare il rispetto delle pendenze e degli spessori adottati in fase progettuale (eventuale esecuzione di un rilievo topografico di dettaglio per una verifica delle quote di progetto) e le caratteristiche qualitative del materiale prelevando una serie di campioni da sottoporre a prove in laboratorio (analisi granulometrica 1 ogni 5000 m<sup>2</sup>; contenuto in carbonati) e con prove di permeabilità in sito (prove di permeabilità in pozzetto almeno una 1000 m<sup>2</sup>); nel caso sia di tipo artificiale, verificare la procedura di installazione e a completamento della stesura le caratteristiche del materiale mediante il prelievo di un campione ogni 10000 m<sup>2</sup> per l'esecuzione di prove di laboratorio (massa areica, resistenza a trazione e trasmissività longitudinale) i cui risultati dovranno essere confrontati con le specifiche fornite dal produttore.

### 16.2.2.3. Controlli ad opere ultimate

Ad opere ultimate dovranno essere eseguiti i controlli necessari per accertare il comportamento del sistema di copertura superficiale nelle reali condizioni di esercizio e per verificare la conformità dell'opera realizzata.

Le prove da eseguire possono essere di tipo non invasivo o non distruttivo, principalmente di tipo geofisico, e prove invasive, che a differenza delle precedenti necessitano di un intervento diretto sull'opera (perforazioni, infissione di strumenti, ecc.):

- non invasivo (metodo geoelettrico): permettono di verificare l'integrità del sistema misurando la continuità dell'isolamento elettrico;

- invasivi (lisimetri e campionatori BAT): permettono di verificare l'efficacia dell'intervento nell'impedire l'infiltrazione delle acque meteoriche attraverso il suolo contaminato campionando in situ le acque interstiziali nella porzione di terreno sottostante la copertura impermeabile.

Il tipo di prove da eseguire verrà definito in fase di Progettazione Esecutiva dall'Appaltatore, il quale dovrà redigere anche il verbale di collaudo.

Il collaudo del pacchetto impermeabile multistrato sarà effettuato mediante una battitura topografica finalizzata a determinare eventuali scostamenti tra le quote rilevate e quelle previste dal progetto. Il rilievo topografico dovrà essere eseguito da personale esperto e qualificato mediante una Stazione Totale Robotizzata. I punti di misura dovranno essere in quantità sufficiente a valutare se la conformazione finale dell'area sia allineata a quanto previsto in progetto.

Durante il primo rilievo si dovranno posizionare i picchetti di riferimento (capisaldi) per l'esecuzione dei rilievi successivi.

Al termine del rilievo dovrà essere prodotta idonea documentazione tecnico-descrittiva delle misure e delle attività intraprese.

### **16.3. Piano delle azioni di monitoraggio e controllo per la verifica nel corso del tempo degli interventi di bonifica**

#### **16.3.1. Monitoraggio delle acque di falda**

Il monitoraggio della qualità delle acque di falda sarà pianificato per seguire il progresso della azioni di bonifica e per valutare nel tempo i risultati degli interventi di risanamento implementati. Tali controlli costituiranno a tutti gli effetti il collaudo finale dell'intervento e dovranno garantire il raggiungimento degli obiettivi di bonifica definiti dall'Analisi di Rischio per la matrice acque sotterranee (cfr. paragrafo 6.2). Considerato che per la bonifica delle acque sotterranee risulta fondamentale il risanamento delle sorgenti secondarie nei terreni insaturi profondi, per il raggiungimento degli obiettivi nelle acque di falda, allo stato delle conoscenze attuali, si possono stimare tempi di 5-8 anni a partire dalla bonifica dei suoli insaturi profondi.

Si propone di proseguire i monitoraggi attuali, in corrispondenza della rete piezometrica esistente, che comprende i seguenti Pozzi/piezometri (Figura 5 nella sezione 3):

- Pozzi -> P1, P2, P3, P4, P5, P6 P7.
- Piezometri interni-> Pz1, Pz2, Pz3, Pz4, Pz5, Pz6, Pz7, Pz8, Pz9, Pz10.
- Piezometri esterni-> Pz1est, Pz3est, Pz4est, Pz5est.

che prevedono campionamenti con cadenza semestrale per la verifica dei seguenti analiti:

- Hg, As, Cr tot, Cr VI
- Alifatici clorurati cancerogeni e non cancerogeni
- Fitofarmaci
- PCB
- PCDD/PCDF

Nel caso in cui, durante gli interventi di decommissioning o di bonifica suoli, alcuni dei pozzi/piezometri esistenti dovessero essere danneggiati e/o modificati, gli stessi verranno ripristinati con una distribuzione tale da garantire il monitoraggio periodico delle acque sotterranee monte-valle idrogeologico.

Il monitoraggio delle acque di falda verrà intensificato, durante l'esecuzione degli interventi di bonifica *in situ* nei suoli insaturi profondi (cfr. Paragrafo 10), che prevedono azioni mirate finalizzate alla rimozione, al trattamento e/o alla immobilizzazione dei contaminanti, in corrispondenza delle sorgenti secondarie che pongono maggiori rischi per la qualità delle acque sotterranee. In particolare, saranno selezionati n. 3 piezometri di controllo (appositamente installati o selezionati tra quelli esistenti) di cui uno a monte, uno all'interno della zona di trattamento e uno a valle, fessurati nella porzione più superficiale dell'acquifero, indicativamente alle stesse profondità coperte dalle iniezioni (e comunque a profondità non superiori a 40 m da p.c.).

Le attività di monitoraggio delle acque potranno proseguire per un ulteriore periodo di due anni successivamente al raggiungimento degli obiettivi di bonifica per le acque di falda, considerando che per alcuni parametri (cfr. paragrafo 6.2), le acque di falda presentano già in ingresso al sito concentrazioni superiori alle CSC, pertanto per questi gli obiettivi di bonifica non potranno essere inferiori alle concentrazioni rilevate a monte o comunque in ingresso al sito. Per tali composti, per i quali viene riconosciuta comunque una contaminazione diffusa nell'ambito dell'intero SIN Caffaro-Brescia, dovrà essere effettuata una valutazione complessiva degli apporti esterni all'area occupata dallo stabilimento Caffaro.

## 17. PROTEZIONE SALUTE, SICUREZZA E AMBIENTE

Prima dell'inizio degli interventi di bonifica verrà predisposto uno specifico Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) in cui saranno affrontate le tematiche relative alle precauzioni di sicurezza da applicare durante l'esecuzione degli interventi oggetto del presente POB.

Il PSC dovrà essere redatto in conformità a quanto previsto dall'art. 100 del Decreto Legislativo 3 agosto 2009 n. 106 (D. Lgs. 81/08 e smi) e quindi dall'Allegato XV; il fascicolo dell'opera secondo l'Allegato XVI allo stesso Decreto. Inoltre, dovranno essere considerate le Norme Tecniche Nazionali (UNI) ed Europee (EN).

Il PSC dovrà sviluppare alcuni elementi minimi che vengono di seguito brevemente riportati.

1. L'identificazione e la descrizione dell'intervento.

2. L'indirizzo di cantiere.

Verranno individuati e analizzati, ai fini della cantierizzazione, i luoghi e i punti di deposito dei materiali e dei mezzi d'opera.

3. L'identificazione dei soggetti con compiti di sicurezza.

Sarà esplicita con l'indicazione dei nominativi dell'eventuale responsabile dei lavori, del coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione e, qualora già nominato, del coordinatore per la sicurezza in fase di esecuzione.

4. Valutazione dei rischi.

Nel caso specifico l'individuazione, l'analisi e la valutazione dei rischi saranno esplicitate considerando gli elementi essenziali, in riferimento:

- alle caratteristiche dell'area di cantiere ove si eseguiranno la movimentazione dei terreni da escavare e le aree di accumulo per la caratterizzazione dei materiali da trattare;
- all'installazione dei sistemi di:
  - trattamento on site per il Soil Washing;
  - trattamento delle acque di falda emunte;
  - trattamento in situ mediante ISCO/ISSF e Soil Replacement;
- agli eventuali rischi che le lavorazioni di cantiere possono comportare per l'area circostante (la movimentazione dei mezzi d'opera, rumore, etc.)

Per ogni elemento dell'analisi di cui ai punti precedenti vanno indicate:

- le scelte progettuali ed organizzative, le procedure, le misure preventive e protettive richieste per eliminare o ridurre al minimo i rischi di lavoro; ove necessario, vanno prodotte tavole e disegni tecnici esplicativi quali gli schemi di montaggio;
- le misure di coordinamento atte a realizzare gli interventi in sicurezza

5. L'organizzazione del cantiere.

In riferimento all'organizzazione del cantiere il PSC deve contenere, in relazione alla tipologia del cantiere, l'individuazione e l'analisi dei seguenti elementi:

- a. la recinzione del cantiere, con accessi e segnalazioni;
- b. i servizi igienico-assistenziali;
- c. la viabilità principale del cantiere e l'eventuale modalità d'accesso dei mezzi e l'interferenza con la viabilità pubblica;
- d. la dislocazione degli impianti fissi di cantiere e scarico;
- e. le zone di deposito attrezzature e di stoccaggio, materiali e dei rifiuti;
- f. le eventuali zone di deposito materiali con pericolo d'incendio o di esplosione.

Analogamente a quanto sopra vanno indicate, le scelte progettuali ed organizzative, le procedure, le misure preventive e protettive richieste per eliminare o ridurre al minimo i rischi di lavoro, e verranno prodotte tavole e disegni tecnici esplicativi e le misure di coordinamento atte a realizzare quanto esposto nel precedente punto.

#### 6. Le lavorazioni.

L'individuazione, l'analisi e la valutazione dei rischi in riferimento alle lavorazioni in cantiere sono esplicitate suddividendo le singole lavorazioni in fasi di lavoro e, quando l'opera lo richieda, in sottofasi di lavoro.

Analogamente a quanto sopra vanno indicate, le scelte progettuali ed organizzative, le procedure, le misure preventive e protettive richieste per eliminare o ridurre al minimo i rischi di lavoro, e verranno prodotte tavole e disegni tecnici esplicativi e le misure di coordinamento atte a realizzare quanto esposto nel precedente punto.

#### 7. Le interferenze tra le lavorazioni.

L'individuazione, l'analisi e la valutazione dei rischi in riferimento alle interferenze tra le lavorazioni saranno esplicitate con la predisposizione del cronoprogramma delle operazioni e l'analisi delle loro interferenze.

Il coordinatore per la progettazione indicherà nel PSC le misure preventive e protettive atte ad eliminare o ridurre al minimo i rischi d'interferenza; nel caso in cui permarranno i rischi d'interferenza rilevanti, indicherà le prescrizioni operative per lo sfasamento spaziale o temporale delle lavorazioni interferenti e la modalità di verifica del rispetto di tali prescrizioni.

Durante i periodi di maggiore rischio dovuto ad interferenze di lavoro, il coordinatore per l'esecuzione verificherà periodicamente, in collaborazione con le imprese esecutrici ed i lavoratori autonomi interessati, la compatibilità della relativa parte del PSC con l'andamento dei lavori, aggiornando il piano ed in particolare il cronoprogramma dei lavori, se necessario.

In fase di progettazione definitiva ed esecutiva il coordinamento tra progettista e coordinatore della sicurezza per la progettazione dovrà consentire di poter monitorare l'evolversi della progettazione nelle diverse sue fasi avendo cura di:

- privilegiare scelte operative che prevedano la possibilità di realizzare dispositivi di protezione collettiva rispetto a quelli di protezione soggettiva.
- di definire, suddividendo le lavorazioni in fasi, eventuale contemporaneità nell'esecuzione, potenzialmente pericolose, adattando di conseguenza le scelte progettuali ad una diminuzione dei rischi inducibili nelle diverse fasi. Infine verranno considerate, nella progettazione tutte quelle interferenze con l'ambiente esterno tali da indurre o ricevere rischi all'esterno o dall'esterno del cantiere, privilegiando nella progettazione, quelle forme d'intervento che considerassero un abbassamento dei livelli di rischio presente.

## 18. IMPIANTI E AUTORIZZAZIONI

Si riportano nel seguente capitolo maggiori dettagli su impianti e processi che generano scarichi o emissioni e impianti funzionali agli interventi per i quali dovranno essere acquisiti specifici titoli abilitativi.

### 18.1. Impianto SVE

Come indicato nel POB, la tecnologia Soil Vapour Extraction (SVE) è stata individuata per il trattamento della possibile sorgente secondaria di solventi clorurati nei terreni insaturi, ipotizzata allo stato attuale in prossimità dell'ex impianto Clortex. I risultati del monitoraggio delle acque di falda hanno infatti evidenziato concentrazioni significative di triclorometano (cloroformio) e tetracloruro di carbonio rispettivamente in corrispondenza delle aree identificate dai piezometri PZ5-PZ10 e dai piezometri MW6-MW7.

L'azione di ventilazione del sottosuolo sarà finalizzata al trattamento delle sorgenti di contaminazione attraverso la rimozione dei composti clorurati dispersi nei terreni insaturi, anche profondi, fino al livello della frangia capillare, interrompendone la migrazione verso la zona satura e favorendo il raggiungimento degli obiettivi di risanamento delle acque di falda.

In considerazione dell'elevato spessore di insaturo potenzialmente coinvolto si prevede l'installazione di pozzi di estrazione anche a diverse profondità, per il trattamento di "colonne" di terreno impattato e/o di orizzonti specifici di sottosuolo, in funzione delle necessità riscontrate.

Il principio di funzionamento della tecnologia Soil Vapour Extraction (SVE) prevede che, mediante pozzi appositamente installati, venga generato un certo grado di depressione nella zona insatura del terreno tale da consentire l'estrazione dei contaminanti volatili dal sottosuolo.

L'aria estratta (gas interstiziali) dal sottosuolo, arricchita dei composti organici volatili, sarà trattata tramite un'unità di filtrazione a carboni attivi posta a valle del sistema di aspirazione.

Sulla base dei dati del monitoraggio soil gas effettuato in sito le classi di sostanze volatili (VOC) potenzialmente presenti nel flusso di gas estratti dal sistema sono le seguenti:

- Alifatici clorurati cancerogeni e non cancerogeni;
- Clorobenzeni;
- BTEXS;
- Mercurio.

#### 18.1.1. Layout del sistema SVE

Sulla base dell'estensione dell'area di intervento, stimata in circa 3000 m<sup>2</sup>, e considerando un raggio di influenza cautelativamente al massimo pari a 10 m, si prevede di realizzare un numero di pozzi di estrazione compreso tra 15 e 20. L'estensione dell'area di trattamento, la profondità di trattamento ed il numero di pozzi da realizzare saranno confermati a seguito della realizzazione delle indagini integrative e dello specifico campo prova di SVE.

## 18.1.2. Caratteristiche prestazionali impianto

In funzione dei parametri di progetto e dell'estensione stimata dell'area d'intervento, è stata prevista l'installazione di una unità impiantistica, costituita dai seguenti elementi:

- n. 3 aspiratori/ventilatori a canale laterale, a servizio dei pozzi di estrazione (specifiche prestazionali, per ciascun aspiratore, 500 Nm<sup>3</sup>/h, a -150 mbar);
- n. 1 separatore di condensa;
- n. 1 pompa centrifuga per il rilancio delle condense;
- n. 1 quadro elettrico di alimentazione e controllo;
- strumentazione e valvole di regolazione e controllo.

La potenza massima impegnata dal sistema sarà pari a 20 kW.

Sulla base della consistenza (numero di pozzi SVE) e delle caratteristiche prestazionali delle unità di aspirazione/ventilazione, si individuano portate massime di aspirazione/ventilazione in corrispondenza di ciascun pozzo in un range compreso tra 50 e 100 Nm<sup>3</sup>/h.

Per le linee di collegamento dell'impianto di estrazione ai pozzi, saranno impiegate tubazioni in HDPE PE100 PN10, indicativamente di diametro DE63.

Lo schema meccanico del sistema SVE viene presentato nella Tavola 15 allegata al presente documento.

## 18.1.3. Sezione di filtrazione

L'aria che sarà estratta dal sottosuolo tramite gli impianti di Soil Vapour Extraction, prima di essere emessa in atmosfera, verrà gestita attraverso il sistema di trattamento a filtrazione su carboni attivi.

I filtri a carboni attivi saranno dimensionati per trattare una portata massima di 1500 Nm<sup>3</sup>/h con un tempo di contatto minimo di 3 secondi e una velocità di filtrazione compresa tra 0,1 e 0,5 m/s.

Allo stato attuale si ipotizza l'impiego di n° 4 filtri disposti su due linee in parallelo, ciascuna composta da 2 filtri in serie, con contenuto di carbone attivo pari a circa 3000 kg complessivi. Ogni filtro sarà dotato di apposita apertura per lo svuotamento e la sostituzione del carbone esausto.

Ogni singolo filtro sarà dotato di prese campioni in ingresso e in uscita con caratteristiche conformi a quanto previsto da norma UNI 10169.

Il flusso d'aria trattata sarà convogliato ad un unico camino di emissione con le caratteristiche di seguito descritte. Il sistema di trattamento dovrà rispettare al camino i limiti sulle emissioni previsti dalla Parte V del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.

Il camino di emissione della batteria di filtri ad adsorbimento sarà dotato di una presa utilizzabile per il monitoraggio ed il campionamento degli effluenti gassosi in uscita dal trattamento.

L'autorizzazione all'emissione in atmosfera ai sensi dell'art. 269 si considera che possa essere rilasciata in sede di approvazione del POB di cui il presente documento rappresenta una sua integrazione.

### 18.1.3.1. Emissioni in atmosfera

Il flusso d'aria trattata al punto di emissione avrà le seguenti caratteristiche:

Portata massima: 1500 Nm<sup>3</sup>/h;

Altezza minima: 4 m;

Durata: 24 h/giorno;

Concentrazione massima sostanze volatili:

- 150 mg/Nm<sup>3</sup> per composti organici volatili totali;
- 20 mg/Nm<sup>3</sup> per carbonio tetracloruro, 1,1 dicloroetilene, tricloroetilene, tetracloroetilene
- 5 mg/Nm<sup>3</sup> per benzene, 1,2 dicloroetano, vinil cloruro, esaclorobutadiene
- 0,2 mg/Nm<sup>3</sup> per mercurio

### 18.1.4. Monitoraggio SVE

La gestione dell'impianto SVE prevede l'esecuzione di controlli di funzionamento dell'impianto (soffianti, tubazioni, strumenti di misura e di controllo) e la regolazione della portata di aria estratta dai pozzi. Il sistema sarà monitorato mediante il rilievo periodico dei seguenti parametri:

portata di aria aspirata dal sottosuolo;

depressione indotta nei pozzi di aspirazione;

concentrazione di VOC in ingresso ed uscita dall'impianto (mediante PID).

La qualità del flusso d'aria emesso in atmosfera attraverso l'impianto SVE sarà verificata mensilmente mediante misura del flusso e della concentrazione di VOC nei gas in uscita dall'impianto.

A tal fine verranno prelevati con cadenza mensile, attraverso pompa di tipo low flow, un campione di gas interstiziali in ingresso ed uno in uscita dall'impianto, in modo da consentire di verificare l'efficienza del sistema di filtrazione, monitorare il consumo dei carboni attivi e programmare per tempo la sostituzione degli stessi.

## 18.2. **Soil Washing**

### 18.2.1. Descrizione del processo

L'impianto di trattamento di Soil Washing sarà collocato nella porzione di Stabilimento posta a Sud di Via Morosini. Il trasporto dei terreni contaminati avverrà tramite autocarri navetta; a tal fine verrà utilizzato il nuovo nella recinzione a sud dello stabilimento per mettere in comunicazione le due aree. Via Morosini dovrà essere temporaneamente chiusa e il traffico locale sarà opportunamente gestito con una viabilità alternativa.

Il sistema di trattamento sarà indicativamente composto da tre sezioni:

- stazione di lavaggio e separazione in frazioni fini, medie e grossolane;
- stazione di trattamento delle frazioni fini e di filtropressatura meccanica;
- stazione di trattamento delle acque di lavaggio;

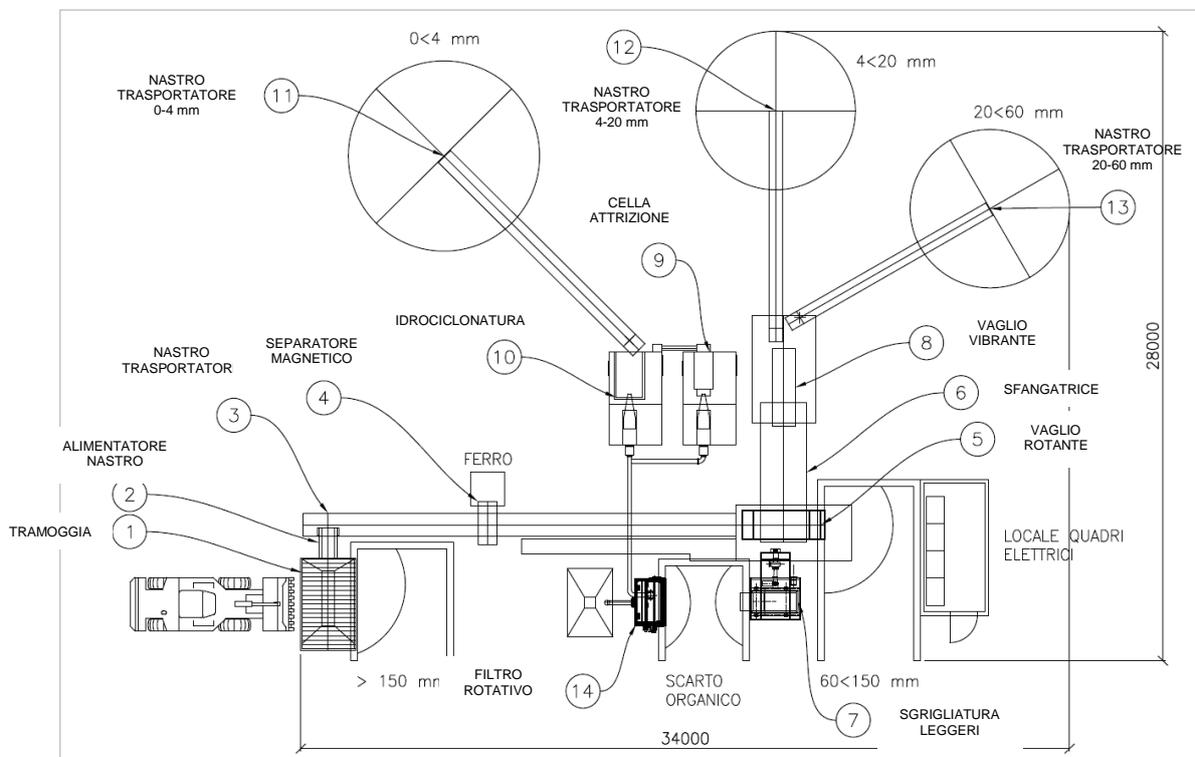
Tale sistema permetterà attraverso meccanismi fisici e/o chimici di separare le matrici che compongono il suolo, concentrando gli inquinanti nella parte più fine (limi e argille).

In considerazione dei volumi di trattamento e delle tempistiche previste per le attività in sito, sulla base delle attuali valutazioni in termini di costi benefici, si prevede l'installazione di un impianto con **potenzialità di circa 20 t/h** e di potenza installata complessiva pari a circa 150 kW.

L'impianto sarà dotato di un pannello di controllo centralizzato che consente la gestione dei vari cicli di trattamento e la regolazione della durata dei medesimi in relazione alla tipologia di materiale alimentato.

La figura seguente mostra un layout indicativo dell'impianto di lavaggio terreni. La configurazione e il dimensionamento finale degli impianti di trattamento potranno essere definite nel dettaglio a valle della prova pilota.

In fase esecutiva l'appaltatore avrà la facoltà di selezionare un'attrezzatura anche con diverse caratteristiche nel rispetto dei vincoli prestazionali e del processo di trattamento già individuato.



**Figura 82: Layout impianto di lavaggio terreni**

## 18.2.2. Caratteristiche dell'impianto di lavaggio

Il trattamento di lavaggio sarà costituito dalle seguenti fasi operative:

- **Separazione fisica delle differenti frazioni granulometriche:** esecuzione di processi meccanici sia a secco che con uso di acque per la separazione fisica delle diverse granulometrie; i processi a secco (vibrovaglio) consentono la separazione di frazioni granulometriche ghiaiose, mentre i processi con uso di acqua (idrociclone) consentono la separazione delle frazioni sabbiose. Le frazioni estremamente fini potranno essere separate mediante processi di decantazione (flottatori). La separazione fisica, oltre alla separazione in termini di classi granulometriche dei terreni consente la suddivisione del terreno anche in frazioni a differenti livelli di contaminazione. Tale processo potrebbe già abbattere parte delle contaminazione iniziale.
- **Lavaggio con acqua:** le diverse frazioni granulometriche dovranno essere sottoposte a lavaggio mediante acqua pulita eventualmente additivata.
- **Caratterizzazione per gruppi omogenei:** le frazioni granulometriche sottoposte a processo di lavaggio saranno sottoposte ad analisi chimiche per la verifica della possibilità di riutilizzo in sito.

Le diverse classi granulometriche che risulteranno conformi al riutilizzo dopo i singoli processi di trattamento saranno depositati nella specifica area di accumulo, in attesa del riutilizzo in sito. I materiali non conformi al riutilizzo saranno inviati alla relativa area di stoccaggio per materiali da inviare a incapsulamento.

Il materiale da trattare raggiungerà la **tramoggia di carico** mediante trasportatore a nastro, a seguito della quale sarà sottoposto ad una **prima fase di vagliatura** per la separazione dei materiali di grosse dimensioni (ciottoli, trovanti, etc.) e di recupero dei materiali ferrosi mediante deferrizzatore magnetico. I terreni contaminanti saranno quindi avviati all'impianto di lavaggio costituito dalle seguenti sezioni di trattamento, tra loro interconnesse da sistemi di alimentazione/scarico:

- **Vaglio rotante di prelavaggio**, nel quale i terreni contaminati subiranno un preliminare energetico lavaggio con acqua per consentire la separazione e il recupero dei materiali grossolani (> 60 mm);
- **Disaggregatore a palette/Sfangatrice a botte:** nel quale avverrà la completa disaggregazione delle zolle di terreno, il lavaggio della frazione grossolana (> 4 mm) con distacco degli inquinanti e del limo;
- **Vibrovaglio classificatore:** per il lavaggio, l'asciugatura e la separazione delle ghiaie dal materiale in uscita dal disaggregatore/sfangatrice a botte;
- **Celle di attrizione:** nel quale le sabbie vengono lavate e trattate meccanicamente per la rimozione degli inquinanti il lavaggio del fluido di estrazione in uscita dal vaglio a umido e dal vibroasciugatore classificatore; la frazione fine generata viene rimossa e raccolta come residuo contaminato, mentre la frazione più grossolana è raccolta come prodotto pulito o da sottoporre ad ulteriori trattamenti;

- **Idrociclonatura:** costituita da un sistema di separatori di tipo centrifugo (senza parti mobili) per la separazione delle sabbie (0,06 – 4 mm) dai limi e dalle argille del fluido di estrazione;
- **Vibroasciugatore:** per l'asciugatura delle sabbie decontaminate.

### 18.2.3. Sezione di trattamento acque di lavaggio

A completamento dell'impianto, si prevede l'installazione di una **sezione di trattamento e ricircolo dell'acqua di lavaggio** e di una sezione di disidratazione meccanica dei fanghi prodotti (frazione fine), così articolate:

- **Sedimentatore:** nel quale avviene la separazione tra i fanghi, depositati sul fondo, e le acque surnatanti chiare. A monte del sedimentatore verranno eseguiti gli opportuni trattamenti con dosaggio di "chemicals" per la depurazione delle acque;
- **Disoleatore:** per la separazione dei contaminanti organici in sospensione dalle acque surnatanti in uscita dal sedimentatore;
- **Impianto di trattamento chimico-fisico:** per la depurazione delle acque in uscita dal disoleatore;
- **Sezione di filtrazione a quarzite e a carbone attivo:** per le acque in uscita dall'impianto chimico-fisico;
- **Serbatoio di accumulo:** nel quale sarà stoccata l'acqua a seguito del trattamento, per essere riutilizzata all'interno dell'impianto di soil washing;
- **Vasca di omogeneizzazione:** nella quale saranno omogeneizzati i fanghi in uscita dal sedimentatore;
- **Filtropressa a piastre:** nella quale avverrà un'ulteriore separazione dei solidi dai liquidi, concentrando gli inquinanti nel pannello e riducendone l'umidità relativa al valore più basso raggiungibile.

Il processo di trattamento sarà definito nel dettaglio sulla base degli inquinanti organici ed inorganici presenti nei materiali soggetti al lavaggio, in particolare: PCB, diossine e metalli.

Si stima una portata di acqua circolante pari a **60-75 m<sup>3</sup>/h**, di cui il 15-18% dovrà comunque essere spurgato/scaricato e reintegrato. Al fine di minimizzare i consumi di acqua di rete, si valuterà la possibilità di utilizzare acqua depurata proveniente dai sistemi di trattamento delle acque di falda in sito presenti in sito.

### 18.2.4. Materiali in uscita dall'impianto di lavaggio

I materiali in uscita dal trattamento possono essere sintetizzati come segue:

- **Materiali recuperati**
  - Sabbie
  - Ghiaie
  - Materiali ferrosi

- **Materiali a incapsulamento**
  - Fanghi disidratati
  - Organico fine e grossolano
- **Materiali a smaltimento**
  - Scarti grossolani

#### 18.2.5. Piattaforma di alloggiamento impianto

L'area di alloggiamento impianto, comprensiva delle stazioni sopra indicate, occuperà una superficie indicativa di circa 2.500 m<sup>2</sup>.

La piastra o platea di sostegno dell'impianto di Soil Washing sarà protetta al fondo da un pacchetto impermeabilizzante (cfr. par. 9.5.4.), con la completa regimazione delle acque di piazzale e di tetto (a copertura dell'impianto stesso).

A completamento dell'area di impianto saranno previsti anche i servizi, gli uffici e le aree di manovra dei mezzi. Le piste di accesso e gli spazi di manovra saranno tali da consentire non solo il transito dei mezzi, ma anche le manovre di carico e scarico materiali.

I terreni a seguito di ogni ciclo di trattamento, saranno stoccati nelle apposite aree di accumulo (A2-G, A3-S e A4-F) in cui saranno caratterizzati per verificare l'efficacia del trattamento e quindi la loro conformità al riutilizzo in sito oppure all'incapsulamento. Le baie saranno realizzate secondo le modalità indicate al paragrafo 9.1.7.

Per il drenaggio e la regimazione delle acque di piazzale si prevede la posa di una canaletta perimetrale in c.a.v con dimensioni nette interne pari a 0.50x0.60m, pendenza longitudinale pari allo 0.2÷0.3% e dotata di griglia carrabile (classe D400) in corrispondenza delle zone di transito mezzi.

Le acque di prima pioggia ricadenti sulla piattaforma saranno inviate alla sezione di trattamento acque asservita all'impianto di lavaggio prima dello scarico nel corpo idrico superficiale.

Il recapito al recettore finale (roggia Fiumicella) avverrà in corrispondenza del tombino (pozzetto di ispezione) esistente ubicato lungo via Morosini attraverso la posa di un tratto di collettore interrato DN500 in HDPE SN8.

### **18.3. Trattamento in sito dei materiali da demolizione**

#### 18.3.1. Impianti di trattamento

Si prevede di avvalersi di impianto di frantumazione mobile per la riduzione volumetrica ed il recupero dei materiali provenienti dalle attività di demolizione, garantendo un adeguato assortimento granulometrico dei materiali in uscita al trattamento e favorendo la separazione delle frazioni non inerti (attività di recupero R5).

L'installazione di tale impianto mobile nel cantiere è dunque finalizzata a favorire l'attività di riutilizzo in sito del materiale macinato, abbattendo i costi di trasporto e di smaltimento, riducendo di conseguenza le richieste di materia prima per riempimenti.

La demolizione degli edifici e la successiva gestione dei materiali sarà effettuata per lotti omogenei in modo tale da ottenere per ogni lotto di demolizione uno o più cumuli da sottoporre ad indagine per il controllo di idoneità al recupero e definirne la destinazione finale.

Prima di sottoporre i rifiuti inerti alle operazioni di trattamento saranno effettuate, su alcuni campioni rappresentativi, analisi di caratterizzazione al fine di escludere la pericolosità, nonché il test di cessione in conformità all'allegato 3 del D.M. 05/02/98, come modificato dal D.M. 186 del 05/04/06.

Dopo l'operazione di frantumazione i materiali saranno stoccati in cumuli; da ogni cumulo sarà prelevato un campione rappresentativo che sarà sottoposto all'analisi di caratterizzazione comprensiva del test di cessione come da D.M. 05/02/98 modificato dal D.M. n. 186 del 05/04/06, per verificarne la conformità alle specifiche tecniche ed all'ecocompatibilità di cui all'allegato C della Circolare del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio 15 luglio 2005, n. UL/2005/5205.

I materiali che non dovessero risultare completamente conformi, potranno essere inviati dopo la frantumazione ad un ulteriore trattamento mediante lavaggio nell'impianto di Soil Washing (già descritto al par. 18.2) al fine di massimizzare le frazioni riutilizzabili per le attività di rimodellazione morfologica delle aree di scavo e per i sottofondi delle aree oggetto di MISP.

Dalle operazioni di recupero dovranno quindi essere ottenute materie prime secondarie con caratteristiche conformi all'Allegato C della Circolare del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio 15 luglio 2005, n. UL/2005/5205 ai fini del riutilizzo in cantiere per:

- realizzazione di rinterri, rimodellamenti e rinaturalizzazioni in sito per le aree oggetto di escavazione;
- confezionamento di calcestruzzi e realizzazione di sottofondi stradali, strati di fondazione e piazzali industriali.

Per i materiali non conformi all'Allegato C a seguito dei trattamenti sopra indicati, e pertanto non riutilizzabili per la rimodellazione morfologica degli scavi di bonifica, si procederà al loro conferimento al sistema di MISP come descritto alla sezione 4 del presente documento.

Per l'esercizio dell'impianto di Soil Washing ai fini delle operazioni di recupero dovrà essere attivata la procedura di verifica assoggettabilità alla VIA; dalla verifica preliminare eseguita attraverso il metodo per l'espletamento della verifica di assoggettabilità a VIA ai sensi della DGR Lombardia n. 8/11317 del 10/02/2010, la pratica non è risultata soggetta a procedura di VIA (cfr. Allegato 19).

L'impianto mobile di frantumazione, montato su ruote/cingolati o trasportato su rimorchio, sarà costituito dalle seguenti sezioni principali:

- tramoggia di carico (bocca di carico da 500 mm a 1.200 mm) con prevagliatura;
- mulino costituito da frantoio a mascelle o a martelli;
- deferrizzatore magnetico;
- nastro trasportatore per lo scarico del materiale trattato;
- vagliatura del materiale;
- apparato motore;
- impianto di abbattimento polveri.

L'impianto avrà caratteristiche tali da garantire durante l'attività una ridotta rumorosità e bassa emissione di polveri e gas di scarico. La potenzialità dell'impianto sarà di circa 100 ton/h; l'alimentazione della tramoggia sarà effettuata mediante escavatore o pala meccanica.

L'impianto mobile di frantumazione dovrà essere autorizzato ai sensi dell'art. 208 D. Lgs. 152/06; l'avvio della campagna di attività dovrà essere comunicata dall'appaltatore incaricato agli enti preposti con almeno 60 giorni di anticipo unitamente alla seguente documentazione:

- specifiche tecniche ed estremi autorizzativi dell'impianto;
- piante/sezioni/prospetti dei macchinari, particolari costruttivi, eventuali punti di scarico ed emissioni;
- programma di lavoro ed entità dell'intervento (durata, orari di lavoro, quantità lavorate);
- caratteristiche delle materie/sostanze/prodotti ottenuti dalle operazioni di recupero e indicazione delle analisi che saranno effettuate;
- verifica di assoggettabilità a VIA dell'evento.

#### **18.4. Impianti trattamento acque di falda**

Si riporta al presente paragrafo la descrizione dei sistemi di trattamento delle acque di falda emunte secondo le diverse fasi della strategia di intervento dettagliate al par. 12.1.

##### **18.4.1. Fase 1 – Ottimizzazione portate e gestione sistemi esistenti**

La prima fase di intervento prevede la prosecuzione delle azioni di MISE già in essere (plume control) e successivo trattamento delle acque emunte mediante i sistemi esistenti costituiti dai seguenti moduli di trattamento:

- Modulo di trattamento Pozzo 7
- Modulo di trattamento Pozzo 2

Le acque trattate sono scaricate in corpo idrico superficiale (Roggia Fiumicella). L'appaltatore incaricato della gestione dei sistemi di emungimento e trattamento dovrà provvedere alla voltura dell'autorizzazione allo scarico in essere.

Sulla base del modello matematico di flusso implementato e degli obiettivi di ottimizzazione delle azioni di plume control mediante riduzione e redistribuzione delle portate emunte, si prevede che la portata di acqua scaricata passi progressivamente dagli attuali 1500 m<sup>3</sup>/h a circa 800 m<sup>3</sup>/h (cfr. par. 12.1.1).

Di seguito sono indicate le principali caratteristiche dei moduli di trattamento acque esistenti, dedotte sulla base della documentazione di riferimento disponibile.

##### **18.4.1.1. Modulo di trattamento Pozzo 7**

L'impianto è dimensionato per trattare una portata di circa 210 m<sup>3</sup>/h.

L'acqua emunta viene inviata a una prima colonna a riempimento C1 (diam. 1200 mm) nella quale il contenuto dei VOC nell'acqua viene ridotto mediante strippaggio con aria (Q=2000 m<sup>3</sup>/h) proveniente da una seconda colonna di strippaggio posta in serie; l'acqua viene raccolta nel

serbatoio S1 ( $V=12,5 \text{ m}^3$ ) dal quale viene pompata mediante la pompa P2 ( $Q=210 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=15 \text{ m}$ ), in controllo di livello, alla seconda colonna a riempimento C2 (diam. 1200 mm).

In questa seconda colonna è previsto uno stripping con aria ambiente ( $Q=2000 \text{ m}^3/\text{h}$ ) per abbattere ulteriormente la concentrazione di VOC nell'acqua; l'aria in uscita dalla seconda colonna viene riutilizzata nella prima colonna.

L'aria in uscita dalla prima colonna di stripping C1 viene riscaldata nello scambiatore E1 di pochi gradi ( $5-10 \text{ }^\circ\text{C}$ ) per allontanarsi dalla saturazione e quindi inviata ad un filtro a carbone attivo F2 (vol. c.a.  $5 \text{ m}^3$  cad) per l'adsorbimento dei VOC. Il flusso gassoso depurato è quindi inviato in atmosfera mediante un ventilatore che fornisce la prevalenza necessaria a vincere le perdite di carico lato gas, sezione di stripping inclusa.

L'acqua uscente dalla colonna C2 viene raccolta nel serbatoio S2 ( $V=12,5 \text{ m}^3$ ) e da questo, in controllo di livello, inviata mediante la pompa P4 ( $Q=210 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=33 \text{ m}$ ) ai successivi trattamenti di filtrazione.

L'acqua viene dapprima filtrata in tre filtri a cartucce disposti in parallelo F1A/B/C allo scopo di rimuovere i solidi sospesi; lo stato dei filtri è controllato mediante la misura della pressione differenziale a valle ed a monte degli stessi.

L'acqua viene quindi inviata ai filtri a carbone F3A/B/C (vol. c.a.  $18 \text{ m}^3$  cad.) per la rimozione dei PCB ed ai due filtri a resine F4A/B (diam. 2000 mm; lung. 3500 mm) per la rimozione del mercurio (per avere tutto il mercurio in forma ionica è previsto un dosaggio di ipoclorito).

L'impianto di trattamento è gestito mediante un quadro elettrico e di controllo locale, dove sono riportate le segnalazioni di marcia delle macchine e le variabili di processo misurate.

#### 18.4.1.2. Modulo di trattamento Pozzo 2

Il modulo di trattamento consiste in una sezione di trattamento a resine a scambio ionico, selettive per la rimozione del mercurio.

Il sistema è costituito da due apparecchi di filtrazione in serie, ciascuno dei quali di diametro 2500 mm e con uno strato di riempimento di circa 200 mm di resina con gruppi funzionali tiolici.

La portata d'acqua di trattamento risulta pari a circa  $92 \text{ l/s}$  ( $330 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

#### 18.4.2. Fase 2 - Ottimizzazione plume control e avvio source control

La seconda fase di intervento prevede l'attivazione progressiva di azioni di source control nell'area del Pozzo 7, la progressiva e graduale riduzione degli emungimenti da parte dei pozzi a monte del sito (Pozzi 2 e 5) e la loro sostituzione con emungimenti lungo il confine meridionale.

- Tale configurazione prevede in particolare le seguenti azioni:
- azioni di source control nel nuovo Pozzo 7bis, che sarà fenestrato solo nell'intervallo di profondità corrispondente ai livelli maggiori di PCB (tra 30 e 40 m di profondità);
- azioni di plume control nei nuovi Pozzi 8 e 9 (ubicati lungo il confine di valle idrogeologica), che saranno fenestrati fino a 60 m dal piano campagna, ove transita la contaminazione proveniente dal sito, e dal pozzo esistente P4, che sarà mantenuto attivo.

Sulla base dei risultati della modellazione matematica di flusso implementata si stima una portata complessiva di acqua scaricata pari a circa 450 m<sup>3</sup>/h (cfr. par. 12.1.2 del POB). Le acque trattate saranno scaricate in corpo idrico superficiale (Roggia Fiumicella) attraverso il punto di recapito esistente.

I sistemi di trattamento esistenti saranno integrati con l'introduzione di un modulo di trattamento da circa 50 m<sup>3</sup>/h dedicato al nuovo Pozzo 7bis; il nuovo modulo sarà costituito da una linea di trattamento specifica per la rimozione di PCB, solventi clorurati e mercurio (Hg) sotto descritta.

#### 18.4.2.1. Modulo di trattamento per PCB e solventi

Per la rimozione di PCB e solventi clorurati il ciclo di trattamento si compone come segue:

- serbatoi di accumulo acque emunte;
- filtrazione su sabbia;
- filtrazione su carbone attivo per rimozione PCB e Solventi;
- serbatoi di stoccaggio acque depurate;
- serbatoio di stoccaggio delle acque di controlavaggio;
- trattamento ad osmosi inversa (OI) delle acque di controlavaggio con batteria di filtri a cartucce a protezione delle membrane di OI;
- serbatoio di stoccaggio dei concentrati.

L'acqua emunta è inviata ai serbatoi di accumulo; questi hanno funzione di polmonazione al fine di garantire continuità di alimentazione all'impianto e disconnessione idraulica tra emungimento e trattamento.

Le acque sono quindi rilanciate ad una batteria di filtri a sabbia, per la rimozione dei eventuali solidi sospesi e a protezione della successiva fase di adsorbimento su carbone attivo.

Le acque sono quindi alimentate alla sezione di adsorbimento su carbone attivo per la rimozione specifica dei contaminanti.

Le acque depurate in uscita dai filtri sono rilanciate ai serbatoio di stoccaggio finale i quali garantiscono la disponibilità di un volume di acqua depurata sufficiente per le operazioni di controlavaggio sia dei filtri a sabbia sia dei filtri a carbone.

Le acque di controlavaggio dei filtri sono stoccate in serbatoi, quindi alimentate al successivo stadio di trattamento ad osmosi inversa previo passaggio su filtri a cartuccia (rimozione del particolato).

La sezione di osmosi inversa permette di ottenere dal flusso di permeato un'acqua depurata priva di PCB e solventi. Questa è quindi inviata ai serbatoi di stoccaggio dell'acqua depurata e avviata allo scarico.

Il concentrato, all'interno del quale si trovano i PCB e i solventi clorurati rimossi durante le operazioni di controlavaggio, sono avviati ad un serbatoio di stoccaggio e periodicamente avviati a smaltimento presso impianti autorizzati.

Viste le caratteristiche degli inquinanti rimossi (solventi) le membrane di osmosi inversa devono essere scelte opportunamente e presentare elevati gradi di resistenza all'aggressività degli inquinanti di cui sopra.

#### 18.4.3. Fase 3 – Installazione e gestione sistemi source control

Una volta ridotte e/o eliminate le sorgenti secondarie nei terreni si proseguirà con emungimenti localizzati mirati alle zone di acquifero con maggiore massa residua (azioni di "source control").

Sulla base delle conoscenze attuali si prevede di implementare gli emungimenti selettivi attraverso pozzi di emungimento nell'intervallo di profondità risultato più contaminato, tra 30 e 40 m di profondità (cfr. par. 12.1.3). Le reali necessità di intervento andranno ricalibrate al termine delle operazioni di bonifica sui terreni ed in base agli esiti dei monitoraggi della falda eseguiti.

In tale fase è prevista l'installazione, secondo necessità, di nuove linee di trattamento specifiche per le sorgenti individuate, costituite da moduli idonei a trattare portate fino a circa 50 m<sup>3</sup>/h, eventualmente combinabili tra loro.

Sulla base delle simulazioni effettuate mediante la modellazione matematica si stima una portata complessiva di acqua scaricata pari a circa 120 m<sup>3</sup>/h. Le acque trattate saranno scaricate in corpo idrico superficiale (Roggia Fiumicella).

##### 18.4.3.1. Modulo di trattamento per CrVI

Il sistema finalizzato al trattamento delle acque contaminate da Cromo VI risulta così configurato:

- serbatoi di accumulo acque emunte;
- bacino di contatto e reazione per la riduzione del Cr VI a Cr III;
- filtrazione su sabbia;
- serbatoi di stoccaggio acque depurate;
- serbatoio di stoccaggio acque di controlavaggio;
- coagulazione/flocculazione e sedimentazione per la gestione delle acque di controlavaggio;
- disidratazione dei fanghi prodotti dal trattamento delle acque di controlavaggio.

L'acqua emunta è inviata ai serbatoi di accumulo; questi hanno funzione di polmonazione, al fine di garantire continuità di alimentazione all'impianto e disconnessione idraulica tra emungimento e trattamento.

Dai serbatoi di accumulo le acque sono rilanciate ad un reattore di contatto ove, mediante dosaggio di solfato ferroso e idrossido di sodio, il Cr VI è ridotto a Cr III al fine di ottenere un sale insolubile rimovibile mediante filtrazione. All'occorrenza è previsto il dosaggio di idrossido di sodio al fine di correggere il pH e tenersi in un range di precipitazione ottimale.

Le acque condizionate sono inviate ad una batteria di filtri a sabbia dove avviene la rimozione del Cromo. Le acque depurate sono quindi inviate ad un serbatoio di stoccaggio prima dello scarico. Il serbatoio di stoccaggio delle acque depurate garantisce la disponibilità di un volume di acqua sufficiente per la pulizia, mediante controlavaggio, dei filtri a sabbia.

Le acque di controlavaggio sono inviate ad una sezione di stoccaggio, quindi ad un impianto chimico-fisico per la rimozione del materiale sospeso, costituito dalle seguenti sezioni:

- Fase di coagulazione
- Fase di flocculazione
- Fase di sedimentazione

Nel bacino di coagulazione viene favorita la formazione di fiocchi di fango mediante dosaggio di coagulante ed eventuale idrossido di sodio (per correzione del pH). Successivamente nella sezione di flocculazione, i fiocchi sono ingrossati/appesantiti mediante dosaggio di polielettrolita. Infine nel sedimentatore finale avviene la separazione tra fase solida e fase liquida.

I fanghi prodotti sono infine disidratati e quindi avviati a smaltimento. Le acque chiarificate e i surnatanti di disidratazione sono invece riciccolati ai serbatoi di accumulo iniziale e quindi ritratate in impianto.

#### 18.4.3.2. Modulo di trattamento per Hg

L'impianto finalizzato alla rimozione del mercurio risulta analogo, per configurazione e ciclo di lavoro, al modulo di trattamento per la rimozione dei PCB e dei solventi clorurati.

La differenza risiede nel materiale di riempimento dei filtri a carbone attivo che, viste le specifiche caratteristiche del composto inquinante, sono di tipologia differente. In particolare la rimozione del mercurio richiede l'impiego di carboni attivi additivati per aumentarne la capacità adsorbente nei confronti del mercurio stesso.

La sezione di filtrazione per l'abbattimento del mercurio può essere disposta in serie ai filtri a carbone attivo per la rimozione di solventi e PCB.

#### 18.4.3.3. Modulo di trattamento per As

Per la rimozione dell'arsenico il ciclo di trattamento si compone come segue:

- serbatoi di accumulo acque emunte;
- filtrazione su sabbia;
- serbatoi di stoccaggio acque depurate;
- serbatoio di stoccaggio delle acque di controlavaggio;
- coagulazione/flocculazione e sedimentazione per la gestione delle acque di controlavaggio;
- disidratazione dei fanghi prodotti dal trattamento delle acque di controlavaggio.

L'acqua emunta è inviata ai serbatoi di accumulo; questi hanno funzione di polmonazione al fine di garantire continuità di alimentazione all'impianto e disconnessione idraulica tra emungimento e trattamento.

Le acque sono quindi rilanciate ad una batteria di filtri a sabbia, previo dosaggio di permanganato di potassio e cloruro ferrico.

Le acque depurate in uscita dai filtri sono rilanciate ai serbatoi di stoccaggio finale i quali garantiscono la disponibilità di un volume di acqua depurata sufficiente per le operazioni di controlavaggio dei filtri a sabbia.

Le acque di controlavaggio sono inviate ad una sezione di stoccaggio, quindi ad un impianto chimico-fisico per la rimozione del materiale sospeso, costituito dalle seguenti sezioni:

- Fase di coagulazione
- Fase di flocculazione
- Fase di sedimentazione

Nel bacino di coagulazione viene favorita la formazione di fiocchi di fango mediante dosaggio di coagulante ed eventuale idrossido di sodio (per correzione del pH). Successivamente nella sezione di flocculazione, i fiocchi sono ingrossati/appesantiti mediante dosaggio di polielettrolita. Infine nel sedimentatore finale avviene la separazione tra fase solida e fase liquida.

I fanghi prodotti sono infine disidratati e quindi avviati a smaltimento. Le acque chiarificate e i surnatanti di disidratazione sono invece riciccolati ai serbatoi di accumulo iniziale e quindi ritrattate in impianto.

#### 18.4.4. Limiti allo scarico

Conformemente a quanto previsto dall'autorizzazione in essere, anche per i nuovi moduli di trattamento i limiti di accettabilità allo scarico saranno quelli propri per scarico in Corpo Idrico Superficiale (CIS) di cui alla Tab.3, Allegato 5, Parte III del D.Lgs. 152/2006 per gli inquinanti caratteristici del sito, fatta eccezione per i valori più stringenti richiesti dalla Provincia di Brescia per i seguenti parametri:

- PCB: 0,02 µg/l come media annuale (12 misurazioni a cadenza mensile)
- Hg: 0,5 µg/l (tab. 1/B dell'all.1 alla parte II del D.Lgs. 152/06).
- Daphnia magna (test acuto a 24 ore): 50%
- Tossicità acuta 72 h Pseudokirkneriella sub capitata: 50%
- Tossicità Vibrio Fischeri (15 minuti): 50%

#### 18.5. **Test e prove pilota**

Per l'esecuzione delle prove pilota l'appaltatore provvederà ad effettuare la comunicazione di attività ad inquinamento scarsamente rilevante, ai sensi dell'art. 272 comma 1, corredata da indicazione delle modalità esecutive e la data di messa in esercizio degli impianti o di avvio dell'attività.

## 19. PIANO TEMPORALE DEGLI INTERVENTI

Con riferimento a quanto esposto alla sezione 11 del presente documento, la bonifica dell'area Caffaro viene proposta per fasi successive.

Il dettaglio del Piano Temporale degli interventi di bonifica descritti nel presente elaborato è riportato in Annesso A.

## 20. STIMA DEI COSTI DI INTERVENTO

Il dettaglio dei costi relativi agli interventi di bonifica descritti nel presente elaborato è riportato in Annesso B.

# Tavole

# Tabelle

# Allegati

# Allegato 1

# **Allegato 2**

# **Allegato 3**

# Allegato 4

# Allegato 5

# **Allegato 6**

# Allegato 7

# **Allegato 8**

# **Allegato 9**

# **Allegato 10**

# Allegato 11

# **Allegato 12**

# **Allegato 13**

# Allegato 14

# **Allegato 15**

# Allegato 16

# Allegato 17

# **Allegato 18**

# **Allegato 19**

# **Annessi**