Tauw

Bonifica ex area industriale di Via dei Cappuccini, 40 a Vicenza

Analisi di Rischio sito specifica – Rev. 1

31 ottobre 2011

Tauw

Rif. 1184_008r11cni

Riferimenti

Titolo	Bonifica ex area industriale di Via dei Cappuccini, 40 a Vicenza. Analisi di rischio sito specifica – Rev.1
Cliente	Zambon Group S.p.A.
Autori	Christian Nielsen, Laura Ledda
Verificato	Giovanni Buscone
Approvato	Alberto Ruffo
Numero di progetto	8001184
Numero di pagine	74 (esclusi gli allegati)
Data	31 ottobre 2011

ORDINE INGEGNERI
PROVINCIA CAGLIARI
N. 7131 Dott. Ing. LAURA LEDDA

Tauw Italia S.r.l.
Piazza Leonardo da Vinci, 7
20133 Milano
Telefono 02 26 62 611
Fax 02 26 62 61 52

Il presente documento è di proprietà del Cliente che ha la possibilità di utilizzarlo unicamente per gli scopi per i quali è stato elaborato, nel rispetto dei diritti legali e della proprietà intellettuale. Tauw Italia detiene il copyright del presente documento. La qualità ed il miglioramento continuo dei prodotti e dei processi sono considerati elementi prioritari da Tauw Italia che opera in conformità con gli standard di qualità ed è accreditata:

- UNI-EN-ISO 9001:2000.

Indice

1 Premessa ... 9
1.1 Considerazioni emerse durante gli incontri con gli Enti ... 9
1.2 Informazioni introduttive al documento di analisi di rischio ... 10

2 Metodologia di riferimento ... 13

3 Descrizione dell'area e dei livelli di inquinamento ... 15
3.1 Descrizione dell'area ... 15
3.1.1 Interventi di bonifica e/o messa in sicurezza d'emergenza ... 15
3.1.2 Soggiacenza della falda superficiale ... 16
3.2 Analisi dei livelli di inquinamento ... 17
3.2.1 Suolo insaturo ... 19
3.2.2 Falda superficiale ... 21
3.3 Considerazioni conclusive ... 22

4 Indagini sitospecifiche ... 26
4.1 Speciazione idrocarburi ... 26
4.2 Prove di eluizione ... 27
4.3 Frazione di carbonio organico (foc) ... 29

5 Indagini e valutazioni integrative a completamento della caratterizzazione ... 30
5.1 Indagini integrative sul terreno insaturo ... 30
5.1.1 Descrizione delle attività ... 30
5.1.2 Risultati analitici ... 31
5.2 Indagini integrative selle acque di falda ... 32
5.2.1 Descrizione delle attività ... 32
5.2.2 Risultati analitici ... 33

6 Progetto urbanistico ... 35
6.1 Caratteri generali del progetto ... 35
6.2 Destinazione delle aree e soluzioni edilizie specifiche ... 36
6.3 Fascia di transizione ... 39
6.4 Aspetti costruttivi fondazioni edifici ... 40

7 Modello concettuale e parametri di input ... 41
7.1 Premessa ... 41

7.2 Obiettivi dell'Analisi di Rischio ... 41
7.3 COC (*Chemicals of Concern*) ... 42
7.4 Modello concettuale ... 46
7.5 Parametri di input del modello ... 48
7.5.1 Parametri relativi al sito ... 49
7.5.2 Parametri di esposizione ... 54
7.5.3 Parametri tossicologici e chimico-fisici ... 55
7.6 Analisi delle vie di trasporto ... 56
7.6.1 Volatilizzazione in ambienti esterni e dispersione atmosferica ... 56
7.6.2 Volatilizzazione in ambienti interni ... 57

8 Calcolo delle CSR ... 59
8.1 CSR per le singole sostanze ... 60
8.1.1 CSR Suolo Insaturo ... 60
8.1.2 CSR Falda superficiale ... 62
8.2 CSR cumulate ... 65
8.2.1 CSR Suolo Insaturo ... 65
8.2.2 CSR Falda superficiale ... 66
8.3 Confronto tra CSR e soglie olfattive ... 67
8.4 Obiettivi di bonifica dell'area ... 67
8.5 Confronto delle CSR con lo stato di contaminazione presente nel sito ... 70

9 Conclusioni ... 73

Tavole

1. Planimetria dell'area
2. Barriera idraulica
3. Piezometria dinamica rilievo di dicembre 2009
4. Suolo insaturo – Inquinanti organici – Confronto con CSC
5. Suolo insaturo – Inquinanti inorganici – Confronto con CSC
6. Falda superficiale – Sintesi monitoraggi periodici
7. Acque di Falda Superficiale – Confronto con CSC ed individuazione pennacchi contaminazione – Settembre 2011
8. Indagini integrative 2007 – Ubicazione punti di prelievo campioni
9. Indagini integrative 2011 – Ubicazione punti di prelievo campioni e superamenti delle CSC
10. Progetto edilizio e suddivisione del sito in settori con diversa destinazione d'uso
11. Progetto edilizio – Sezioni progettuali

12. Suolo insaturo – Inquinanti volatili – Confronto con CSC mediante poligoni di Thiessen
13. Falda superficiale – Caratteristiche geometriche dei pennacchi di contaminazione
14. Suolo insaturo – Sintesi superamenti delle CSR
15. Falda superficiale – Rappresentazione superamenti CSR

Allegati

1. Verbale CdS 19 Novembre 2010 e relative comunicazioni – pareri specialistici (solo in formato digitale)
2. Livelli di soggiacenza della falda superficiale rilevati nel periodo aprile 2006 – gennaio 2010
3. Tabella riassuntiva dati di caratterizzazione suolo insaturo
4. Tabella riassuntiva dati di caratterizzazione falda superficiale
5. Indagini integrative 2008 – Certificati analitici (solo in formato digitale)
6. Indagini integrative 2011 – Certificati analitici (solo in formato digitale)
7. Valutazione del rischio per le sostanze non normate dal D.Lgs. 152/06 – suolo insaturo (solo in formato digitale)
8. Valutazione del rischio per le sostanze non normate dal D.Lgs. 152/06 – acque sotterranee (solo in formato digitale)
9. Caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche degli inquinanti e Output del modello di Analisi di Rischio
10. Dati meteo (Allegato 10a solo in formato digitale)
11. Relazione peritale piastre in CLS (solo in formato digitale)
12. Calcolo delle CSR per le singole sostanze
13. Analisi di rischio diretta e calcolo delle CSR cumulate
14. Confronto con le soglie olfattive (Allegato 14b solo in formato digitale)
15. Quadro riassuntivo delle principali assunzioni conservative considerate

1 Premessa

Il presente documento riporta una revisione del documento presentato in data 13 maggio 2010 (reg. PGN 37311 – 1 giugno 2010) agli Enti competenti, in particolare Comune di Vicenza, ARPAV, ULSS, Provincia di Vicenza, contenente uno studio di Analisi di Rischio sito specifica per l'ex area industriale di Via dei Cappuccini, a Vicenza, la cui finalità è quella di valutare un livello di bonifica da attuarsi in funzione di un'ipotesi progettuale di riconversione del sito.

La presente revisione comprende tutte le osservazioni emerse e verbalizzate durante la Conferenza dei Servizi del 19 novembre 2010 e nei successivi tavoli tecnici tenutisi tra i citati Enti e la società Zambon Group e riporta, in allegato, i verbali, le comunicazioni e i documenti tecnici richiesti e inviati.

In accordo con gli Enti, il presente documento riporta in dettaglio, anche se in gran parte già riportati nel documento del 13 maggio 2010, tutti i dati utili a completare il presente studio di analisi di rischio.

1.1 Considerazioni emerse durante gli incontri con gli Enti

In occasione della Conferenza dei Servizi del 19 novembre 2010, il cui verbale è riportato nell'**Allegato 1a**, date per risolte alcune richieste di chiarimento comprese nella comunicazione di risposta inviata da Zambon Group (vedi **Allegato 1b**) e/o trattati nei successivi tavoli tecnici con gli Enti interessati, i cui verbali sono riportati in **Allegato 1c**, sono emerse alcune considerazioni di carattere tecnico, di seguito riassunte, in merito al documento di analisi di rischio presentato e tenute in considerazione nel presente lavoro:

- Tasso inalazione outdoor residenziale per bambini e adulti.
- Frequenza giornaliera di esposizione box auto.
- Frazione areale delle fratture fondazioni.
- Inclusione dei poligoni di Thiessen relativi ai sondaggi ricadenti nelle aree palancolate per il calcolo dell'estensione della potenziale sorgente secondaria di contaminazione.
- Calcolo del rischio cumulato per le sostanze non cancerogene.
- Indagini integrative nel suolo insaturo e nelle acque sotterranee.
- Ricerca sostanze non normate dal D.Lgs. 152/06.
- Confronto con soglie olfattive dei contaminanti.

Nell'**Allegato 1d** sono raccolte le comunicazioni e i pareri specialistici ritenuti necessari per la corretta interpretazione delle osservazioni rilevate.

1.2 Informazioni introduttive al documento di analisi di rischio

Come già anticipato, il presente studio non è stato sviluppato in relazione allo stato attuale dell'area, il cui uso è comunque destinato a variare radicalmente, ma con riferimento ad uno scenario futuro previsto dagli strumenti di pianificazione territoriale, in funzione di un'ipotesi di riutilizzo del sito che prevede la suddivisione dell'ex area industriale in 3 distinti settori, ognuno con una specifica destinazione d'uso:

- Area ad uso residenziale, con presenza di box auto alla base degli edifici;
- Area ad uso servizi, assimilabile ad uso commerciale ai fini dell'Analisi di Rischio;
- Area ad uso verde – ricreativo (parco pubblico con presenza edificio ad uso commerciale).

Come meglio dettagliato nel Capitolo 6, tutte le destinazioni d'uso di cui allo scenario adottato prevedono la presenza di edifici o, comunque, di ambienti confinati; per tali destinazioni gli obiettivi di bonifica sono stati calcolati con riferimento alla presenza di misure di sicurezza aggiuntive rispetto ad un'opera edilizia standard, quali ad esempio un maggiore spessore della soletta delle fondazioni. Inoltre, è stata valutata un'ipotesi edilizia che prevede lo sviluppo di appartamenti per residenti al di sopra di un piano base in cui sono alloggiati box per auto. L'ipotesi progettuale prevede, inoltre, un innalzamento del piano campagna pari ad almeno 0,5 metri in corrispondenza di aree pavimentate e di almeno 1 metro in aree non pavimentate, rispetto al piano campagna originario dell'area industriale.

L'Analisi di Rischio ha preso in considerazione tutte le vie di esposizione potenzialmente attive nel sito ed i recettori, sia *on site* che *off site*, presenti (lavoratori, residenti, adulti e bambini); in particolare sono state valutate:

- l'inalazione *indoor* da parte di recettori *on site*: residenti (adulti e bambini) o lavoratori (adulti) o utilizzatori di box auto (adulti e bambini);
- l'inalazione *outdoor* da parte di recettori *on site*: residenti (adulti e bambini) o lavoratori (adulti) o utilizzatori dell'area verde / parco (adulti e bambini);
- l'inalazione *outdoor* da parte di recettori *off site*: residenti (adulti e bambini).

Non è invece stato considerato il contatto diretto col suolo contaminato (contatto dermico, ingestione e inalazione polveri) in quanto, come già anticipato, si prevede l'innalzamento del

piano campagna di almeno 50 cm in corrispondenza delle aree pavimentate e di almeno 1 metro in corrispondenza delle aree non pavimentate (vedi Capitolo 5).

Il quadro di riferimento normativo sul quale si basa la presente Analisi di Rischio è quello definito nel D.Lgs. 152/06, così come revisionato dal decreto correttivo, il D.Lgs. 4/08. Per l'elaborazione del presente studio, si sono altresì prese a riferimento, laddove condivisibili, le procedure descritte all'interno del documento "*Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta del rischio ai siti contaminati*" (Rev2, marzo 2008), redatto da APAT (oggi ISPRA), in collaborazione con ISS, ISPESL e ARPA Regionali e il più aggiornato *database* tossicologico e chimico fisico redatto da ISS-ISPESL (maggio 2009).

In ottemperanza con i vigenti dispositivi normativi, le matrici ambientali considerate all'interno della presente analisi del rischio e per le quali devono essere definiti adeguati obiettivi di bonifica (CSR, Concentrazioni Soglia di Rischio) sono: suolo insaturo e acque sotterranee.

Per quanto riguarda il rischio ambientale legato alla potenziale migrazione *off site* della contaminazione, si sono fatte le seguenti assunzioni:

- La migrazione *off site* della contaminazione tramite le acque sotterranee (sia acquifero freatico superficiale, sia acquiferi profondi confinati) è di fatto impedita dalla presenza di una barriera idraulica già attiva nel sito (MISE – messa in sicurezza di emergenza); tale dispositivo, che entrerà a far parte del Progetto di Bonifica dell'area, protegge già ora i recettori esterni dalla contaminazione potenzialmente proveniente dall'ex area industriale e, in seguito, permetterà anche la rimozione della contaminazione residua dopo gli interventi di rimozione delle sorgenti secondarie. Pertanto, ottemperando ai criteri proposti da APAT (2008), ovvero quelli di garantire le CSC (*Concentrazione Soglia di Contaminazione*, equivalenti ai limiti tabellari previsti dal D.M. 471/99 per le acque di falda) al confine dell'area di proprietà, decade la necessità di valutare il rischio di diffusione *off site* tramite le acque di falda stesse.
- Per le stesse motivazioni, anche la lisciviazione in falda dal suolo insaturo è stata esclusa dalle vie di esposizione considerate nell'Analisi di Rischio.

Ciò premesso, le CSR verranno calcolate sia per il suolo insaturo che per la falda superficiale in riferimento al già citato scenario, includente le seguenti destinazioni d'uso:

- Area ad uso residenziale, con presenza di box auto alla base degli edifici;
- Area ad uso servizi, assimilabile ad uso commerciale ai fini dell'Analisi di Rischio;
- Area ad uso verde (ricreativo), con presenza edificio ad uso commerciale.

La base dei dati utilizzati per la presente valutazione del rischio deriva principalmente dai seguenti studi / documenti:

- Monitoraggio delle acque sotterranee (periodo 2004-2009) - *Messa in sicurezza d'emergenza (MISE) della falda superficiale e degli acquiferi confinati, Monitoraggio periodico.*
- Progetto Preliminare di Bonifica dell'area - *Progetto Preliminare di Bonifica (D.M. 471/99), rif. 973_001r05gib, del 16 Settembre 2005*.
- Attuazione del Piano della Caratterizzazione - *Realizzazione del Piano della Caratterizzazione (D.M. 471/99), Relazione tecnico descrittiva delle attività svolte e dei risultati ottenuti, rif. 887_002r04aci, del Marzo 2005*.
- Indagini integrative Edificio O - *Indagini integrative area "edificio O", rif. 1023_001r06sec, del 12 Maggio 2006*
- Indagini integrative per la progettazione interventi di bonifica - *Indagini di dettaglio per la progettazione definitiva dell'intervento di bonifica, rif. 1186_002r07sec, del 12 Giugno 2007*

Poiché tutte le indagini di cui sopra sono state effettuate ai sensi del D.M. 471/1999, va rimarcato che tutti i dati analitici acquisiti sui terreni insaturi tal quali sono relativi alla frazione più fine del suolo (inferiore ai 2 mm) e possono essere pertanto utilizzati per l'elaborazione dell'Analisi di Rischio (già peraltro normata nel D.M. 471/99), in piena conformità con la norma oggi in vigore, senza alcuna necessità di acquisire nuovi dati sulla qualità delle matrici ambientali interessate.

Al fine di meglio tarare le elaborazioni di rischio, si sono inoltre realizzate le seguenti indagini integrative (marzo 2007):

- speciazioni idrocarburi;
- test di lisciviazione dei metalli dalla matrice solida.

Il dettaglio e la valenza di tali analisi sono discussi al Capitolo 4.

Il documento si articola sulla base del seguente schema:

- analisi dei livelli di contaminazione, sia per il suolo insaturo che per le acque di falda;
- esiti delle indagini integrative;
- ipotesi di riconversione del sito;
- modello concettuale: ipotesi di base, vie di esposizione e scenari;
- principali parametri di *input*: di esposizione, sito specifici, chimico-fisici e tossicologici;
- risultati dell'analisi del rischio: definizione degli obiettivi di bonifica (CSR) per il suolo insaturo e la falda superficiale;
- conclusioni.

2 Metodologia di riferimento

La metodologia di Analisi di Rischio prende spunto dalla procedura denominata "*Risk Based Corrective Action (RBCA)*" contenuta nello: "*Standard Guide for Risk Based Corrective Action applied at Petroleum Release Sites*", ASTM, E 1739-95 e nel relativo documento di aggiornamento (ASTM PS104-98).

Con questo approccio, per la prima volta, è stata fornita una procedura completa e dettagliata di analisi del rischio da applicare a casi sito specifici; tale procedura si sviluppa secondo più livelli sequenziali: ad ogni livello compete una complessità sempre maggiore in termini di analisi dei fenomeni di contaminazione, vie di esposizione, dati sito specifici e parametri ambientali, uso di modelli previsionali per la valutazione della diffusione potenziale nello spazio e nel tempo della contaminazione.

La presente valutazione del rischio (*Tier II*) utilizza semplici equazioni che si basano, in generale, su bilanci di massa degli inquinanti (per esempio, al fine di valutarne la dispersione nelle acque sotterranee) e sulla distribuzione degli inquinanti stessi nelle diverse fasi nel suolo (ad esempio, la distribuzione degli inquinanti nella fase aeriforme al fine di valutarne la capacità di volatilizzazione).

Non sempre però, tali modelli, proprio a causa della loro semplicità, sono in grado di rappresentare con sufficiente precisione tutti i meccanismi di diffusione a cui sono soggetti gli inquinanti presenti nel sito. Per ovviare a questa mancanza, viene consigliato l'utilizzo di ipotesi e scenari "*ragionevolmente conservativi*": ciò significa che, nella scelta dei parametri da utilizzare per l'analisi del rischio e nella definizione di scenari e vie di esposizione, verranno proposti valori e soluzioni in grado di essere prudenziali per la valutazione del rischio individuale. Nel caso di mancanza o insufficienza di dati verranno quindi operate delle scelte "*sufficientemente conservative*" che si basano su:

- giudizio professionale;
- valori di "*default*" proposti dall'EPA, dall'ASTM che risultino comunque conservativi per l'Analisi di Rischio;
- valori proposti dall'APAT (marzo 2008).

La procedura RBCA prevede una serie di livelli di approfondimento di indagine, sempre più dettagliati e sito specifici. La sequenza logica prevista dalla procedura è la seguente:

- *Valutazione del sito*: descrizione della contaminazione, individuazione dei potenziali recettori, storia del sito, ecc.

- *Livello 1 (Tier I):* si tratta del confronto delle concentrazioni ritrovate nelle matrici ambientali (suolo, falda, ecc.) con una tabella di confronto (*Risk Based Screening Levels*, RBSL), generalmente derivante dall'applicazione delle equazioni previste dalla procedura, con assunzioni particolarmente conservative. Questo genere di analisi non è sito specifica. Secondo quanto previsto dal D.lgs. 152/06, il confronto viene effettuato con i valori di riferimento riportati in Allegato 5, Tabella 1, colonna B (CSC, *Concentrazioni Soglia di Contaminazione* per siti ad uso industriale – terreni) e Tabella 2 (CSC, *Concentrazioni Soglia di Contaminazione* per le acque di falda). Nel caso di superamento dei valori soglia di contaminazione il sito è da considerarsi *potenzialmente contaminato*, e gli inquinanti con valori eccedenti tali limiti sono inseriti all'interno dell'analisi del rischio di livello II per le successive valutazioni (*Tier II*).

- *Livello 2 (Tier II)*: questa fase di analisi prevede il calcolo del rischio e delle concentrazioni obiettivo (*CSR, Concentrazioni Soglia di Rischio*) attraverso l'utilizzo di dati sito specifici, anche utilizzando le stesse equazioni tipiche del Tier I. Tale Livello coincide con quello utilizzato nel presente documento per il calcolo delle concentrazioni obiettivo per la bonifica dell'area.

- *Livello 3 (Tier III)*: nel caso si ritenga, obiettivamente, che le concentrazioni obiettivo (CSR) calcolate attraverso le precedenti fasi, non siano adeguate per il sito, è possibile ottenere nuovi valori per particolari percorsi di esposizione, diretti o indiretti, attraverso l'utilizzo di più sofisticati modelli previsionali e di dispersione degli inquinanti nelle diverse fasi e matrici ambientali.

- *Bonifica o messa in sicurezza*: nel caso le concentrazioni nel suolo eccedano i limiti ricavati attraverso l'analisi del rischio (CSR), è necessario prevedere interventi idonei volti alla riduzione del rischio entro limiti di accettabilità; in tal caso, è quindi possibile rimuovere e/o ridurre la contaminazione, ma anche procedere ad una riduzione dell'esposizione e quindi del rischio, attraverso l'attivazione di misure tecniche (*capping*, regimazione delle acque di infiltrazione, ecc.) e/o amministrative; in particolare, il D.lgs. 152/06 prevede tre differenti modalità operative: 1) *Messa in Sicurezza Operativa*, valida per i siti in attività, riguardante il contenimento e progressiva riduzione dell'inquinamento, demandando la bonifica vera e propria alla dismissione del sito; 2) *Bonifica*, consistente nella riduzione della contaminazione entro i livelli definiti quali obiettivi di bonifica (CSR o CSC); 3) *Messa in Sicurezza Permanente*, definita come separazione definitiva della contaminazione dalle matrici ambientali circostanti.

3 Descrizione dell'area e dei livelli di inquinamento

3.1 Descrizione dell'area

L'ex area industriale, oggetto del presente studio, occupa una superficie complessiva di circa 32.400 mq ed è ubicata nel settore Nord Ovest del centro abitato di Vicenza, all'angolo fra la Via Monte Zovetto e la Via dei Cappuccini ed a circa 300 m dal Fiume Bacchiglione, che scorre a Nord/Nord-Est del sito.

Il sito confina con le seguenti strutture / aree urbane:

- a Nord: con strada laterale alla Via Monte Zovetto e, oltre la strada, con un capannone industriale;
- a Sud: con Via dei Cappuccini e, oltre la strada, edifici ad uso residenziale;
- a Est: con Via Monte Zovetto e, oltre la strada, edifici ad uso residenziale;
- a Ovest: con giardino ed immobile ad uso residenziale di proprietà privata.

3.1.1 Interventi di bonifica e/o messa in sicurezza d'emergenza

L'area in esame, a seguito delle fasi di caratterizzazione del sito, è stata oggetto di una prima fase di attività di bonifica (interventi 1° e 2° st ralcio) che ha comportato la rimozione dei rifiuti e dei terreni molto contaminati giacenti nel sito, ed il confinamento fisico, mediante palancole infisse fino ad incontrare lo strato argilloso compatto, del focolaio di contaminazione ubicato nella parte sud-ovest del sito (si ricorda che per il focolaio ubicato nella parte nord-est del sito, fin dalle prime indagini di caratterizzazione dell'area, era già stato eseguito un confinamento mediante palancole).

Nella tabella seguente sono riportati alcuni dettagli relativi alle due aree palancolate, la cui ubicazione è riportata graficamente nella **Tavola 1**.

Tabella 3.1 : Aree palancolate

Area palancolata	Superficie interessata	Profondità strato argilloso	Profondità infissione palancole	Profondità rimozione terreno
Area Nord-Est	1.483 m^2	7-8 metri da p.c.	9 metri da p.c.	2,5 metri da p.c.
Area Sud-Ovest	2.828 m^2	14-15 metri da p.c.	17 metri da p.c.	1,5 metri da p.c.

Come si evince dalle informazioni riportate in tabella, in corrispondenza di entrambe le aree palancolate è stata eseguita la completa rimozione del terreno insaturo e, almeno per il focolaio ubicato a nord-est, anche di una parte del terreno saturo.

Per quanto riguarda il comparto acque sotterranee, a partire dal 22 Aprile 2004 è in atto un intervento di messa in sicurezza d'emergenza (MISE) mediante l'installazione di una barriera idraulica in posizione di valle idrogeologica rispetto ai focolai di contaminazione, al confine di valle idrogeologica del sito.

L'intervento di MISE si articola su due diversi domini del sottosuolo saturo, ovvero falda superficiale e acquiferi confinati. L'acqua emunta dai pozzi barriera è destinata ad un impianto di trattamento locato in sito. Ulteriori informazioni circa l'intervento di MISE sono disponibili nelle relazioni tecniche di aggiornamento sulla gestione della barriera idraulica, periodicamente inviate a tutti gli Enti interessati.

L'ubicazione dei pozzi barriera è riportata nella **Tavola 2**.

3.1.2 Soggiacenza della falda superficiale

Come si evince dall'**Allegato 2**, i rilievi piezometrici eseguiti in questi ultimi anni mostrano un livello della falda superficiale variabile sia nello spazio, con riferimento a diverse porzioni / subaree all'interno del sito, sia nel tempo, con riferimento alle oscillazioni stagionali. I valori di soggiacenza, registrati in un periodo compreso tra dicembre 2006 e dicembre 2009 nei diversi piezometri presenti nel sito, si attestano tra 33,4 e 36.2 mslm.

Le varie attività di rimozione/movimentazione terreno eseguite in questi anni nonché gli interventi di confinamento fisico mediante infissione di palancole realizzati in corrispondenza dei focolai di contaminazione hanno localmente influenzato il normale andamento della falda superficiale, creando zone a diversa permeabilità ed ostacoli al deflusso della stessa che ne hanno variato il livello di soggiacenza. Se si considera, inoltre, che durante le indagini di caratterizzazione è stata sempre rilevata una elevata etorogenicità stratigrafica in molte porzioni del sito, l'interpretazione dei dati piezometrici risulta piuttosto complessa.

Il livello di soggiacenza della falda superficiale varia tra 1 e 2 metri dall'attuale piano campagna, considerando un livello di quota assoluta di soggiacenza così suddiviso nei diversi settori presenti nel sito:

Settore Nord Ovest: 35,6 mslm
Settore Nord Est: 34,9 mslm
Settore Sud Est: 34,2 mslm
Settore Sud Ovest: 34,7 mslm.

Tali valori sono stati ottenuti seguendo un criterio conservativo che soddisfa le seguenti assunzioni:

- per ogni settore si sono individuati i 3 piezometri ritenuti più rappresentativi, vale a dire: Pz1, Pz3 e Pz23 per il settore Nord Ovest; Pz9, Pz35 e Pz37 per il settore Nord Est; Pz11, Pz18 e Pz40 per il settore Sud Est; Pz 20, Pz21 e Pz36 per il settore Sud Ovest;
- la serie di dati considerata si riferisce ai rilievi freatimetrici successivi all'installazione delle palancole (luglio 2008), in quanto si ritiene che l'intervento abbia influito in modo significativo sul livello della falda (infatti i valori di soggiacenza antecedenti all'intervento di palancolatura sono di norma più bassi per i piezometri locati nelle vicinanze);
- le campagne di monitoraggio di dicembre 2008 e di gennaio 2010 non sono state comprese nell'elaborazione dei dati, in quanto la copiosità eccezionale degli eventi piovosi che hanno interessato quei periodi ha restituito valori anomali di soggiacenza;
- ad ogni settore è stato quindi attribuito il valore più alto rilevato nei 3 piezometri di interesse.

3.2 Analisi dei livelli di inquinamento

Di seguito si riportano le elaborazioni e valutazioni riguardo i livelli di contaminazione rilevati nelle diverse matrici ambientali di interesse. In **Tavola 1** è riportata la planimetria della zona oggetto di studio.

Le elaborazioni e valutazioni si basano sui seguenti documenti, redatti da Tauw Italia, di cui si invita alla consultazione per ulteriori dettagli:

- *"Progetto Preliminare di Bonifica - D.M. 471/99"* (settembre 2005), contenente i risultati della caratterizzazione ai sensi del DM 471/99.
- Monitoraggio delle acque di falda (periodo 2004-2009).
- *"Indagini integrative edificio O"* (maggio 2006), contenente indagini eseguite sia mediante sondaggi geognostici che con l'ausilio della tecnica *Membrane Interface Probe*;
- *"Indagini di dettaglio per la progettazione definitiva degli interventi di bonifica"* (giugno 2007), descrive un'ulteriore campagna di indagine mediante sondaggi geognostici .

Si ritiene importante sottolineare che le indagini di caratterizzazione, descritte nelle relazioni tecniche sopra citate, sono state condotte ai sensi del D.M. 471/99. I valori di concentrazione si riferiscono, pertanto, alla frazione inferiore ai 2 mm ricavata dai campioni prelevati. Il D.Lgs. 152/06, a differenza del D.M. 471/99, prevede che il dato analitico riferito alla frazione inferiore ai 2 mm sia rapportato allo scheletro del campione, compreso tra 2 mm e 2 cm, operando, di fatto, una diluizione del valore di concentrazione. Nel rispetto dell'approccio più conservativo, nelle valutazioni esposte di seguito e nello studio funzionale alla presente Analisi di Rischio non è stata operata alcuna correzione dei dati di caratterizzazione.

Ciò premesso, le elaborazioni si sono concentrate sulle seguenti matrici ambientali:

- Sottosuolo insaturo (0-1,5 m circa).
- Acque di falda superficiali.

Sono state inoltre escluse dalla valutazione le seguenti matrici ambientali:

- Suolo saturo, rilevante ai fini della definizione delle strategie-opzioni di bonifica, ma non significativo in relazione all'analisi del rischio, in quanto le CSR per l'acquifero saturo vengono calcolate per la matrice acquosa (acque di falda) e non per quella solida (suolo).

- Falde confinate, in quanto non generano rischio in relazione all'uso del suolo (la diffusione dei vapori è impedita dalla presenza di orizzonti impermeabili); per quanto riguarda il rischio di diffusione *off site*, questo è annullato dalla presenza di una barriera idraulica intestata anche negli acquiferi profondi contaminati.

Limitatamente al suolo insaturo si rileva che, per i motivi di seguito esposti, alcune specifiche zone sono state escluse dalla presente valutazione:

- Area palancolata ubicata nel settore Nord-Est: completa asportazione del terreno fino ad una profondità di circa 2,5 metri dal p.c.
- Area palancolata ubicata nel settore Sud-Ovest: completa asportazione del terreno fino ad una profondità di circa 1,5 metri dal p.c.

Le valutazioni relative al grado di contaminazione sono state effettuate utilizzando quale riferimento le CSC (*Concentrazioni Soglia di Contaminazione*) stabilite dal D.Lgs. 152/06, Allegato 5 alla Parte IV, Tabella 1, Colonna A (uso residenziale, matrice suolo) e Tabella 2 (acque sotterranee), equivalenti ai limiti tabellari previsti dal D.M. 471/99 per le rispettive matrici ambientali.

Per facilitare l'interpretazione dei risultati restituiti dalle indagini di caratterizzazione svolte nel sito, vista l'eterogeneità ed il numero degli inquinanti coinvolti, si è deciso di descrivere e commentare i livelli della contaminazione, e le relative elaborazioni grafiche, in funzione di inquinanti indicatori, ovvero di quei parametri che per valori di concentrazione, tossicità, frequenza di rilevamento, mobilità nei comparti ambientali, persistenza, e capacità di bioaccumulo, presentano il rischio maggiore per l'uomo. Questo non toglie che le successive elaborazioni per il calcolo delle CSR, come previsto dalla normativa di settore, siano state effettuate anche per tutti gli altri inquinanti coinvolti nella contaminazione.

3.2.1 Suolo insaturo

Il suolo insaturo è quella parte di suolo compresa tra 0 e circa 1,5 m dal p.c., essendo la soggiacenza media della falda pari a circa 1,5 m dal p.c.

Ai fini dell'analisi del rischio, e quindi anche nella presente disamina, è utile tenere separati gli inquinanti organici da quelli inorganici (metalli); infatti, mentre agli inquinanti organici, in particolar modo quelli volatili, possono generare vapori che diffondono in spazi aperti e confinati (inalazione *outdoor* e *indoor*), ai metalli (ad esclusione del mercurio, che può essere volatile) è associabile solo un rischio legato al contatto diretto oppure alla produzione e successiva inalazione di polveri.

Si ribadisce inoltre che nella presente valutazione, circa i livelli di contaminazione del suolo insaturo, sono escluse le due area palancolate ubicate nelle porzioni nord-est e sud-ovest del sito, per le quali è stata ultimata la completa asportazione del suolo insaturo.

I valori di concentrazione restituiti dai campioni di terreno prelevati nel suolo insaturo sono riassunti nella tabella di cui all'**Allegato 3a**.

Le valutazioni di seguito riportate riguardano esclusivamente i dati restituiti dalle indagini di caratterizzazione. Le successive indagini integrative sono invece descritte e commentate nel Capitolo 5.

Inquinanti organici

Per quanto riguarda gli inquinanti organici si rileva quanto segue:

- In 13 sondaggi su 28, pari al 46% del totale, si sono evidenziati superamenti delle CSC per suoli ad uso residenziale.

- In 4 sondaggi su 28, pari al 14% del totale, si sono evidenziati superamenti delle CSC per suoli ad uso industriale.

Più in dettaglio, nella seguente tabella sono riportati alcuni parametri statistici relativi ai principali inquinanti organici, indicatori della contaminazione nell'area; si tratta dei seguenti inquinanti:

- Benzene, che è un indicatore della contaminazione da BTEX (solventi aromatici);
- Triclorometano (TCM) che è un indicatore della contaminazione da solventi clorurati;
- Clorobenzene (MCB) che è un indicatore della contaminazione da clorobenzeni;
- Idrocarburi pesanti (HC>12) e leggeri (HC<12), che sono indicatori della contaminazione da idrocarburi di origine petrolifera.

Tabella 3.2 : Sottosuolo insaturo – inquinanti organici – parametri statistici

Inquinanti	Media geom. mg/kg	90° perc. mg/kg	Max mg/kg	> CSC res. %	> CSC ind. %
Benzene	0,07	0,06	22	3,57%	3,57%
Triclorometano	0,02	0,18	1,5	13,79%	0,00%
Clorobenzene	0,15	9,96	393	10,34%	3,45%
HC < 12	7,85	28,00	350	13,79%	6,90%
HC > 12	14,22	2055,00	4100	17,24%	10,34%

Infine, il quadro riassuntivo della contaminazione da inquinanti organici, con riferimento alle CSC (*Concentrazione Soglia di Contaminazione*) per un uso residenziale e industriale, è riportato in **Tavola 4**.

Dalle elaborazioni proposte emerge una lieve contaminazione, scarsamente diffusa, da inquinanti organici, in particolare triclorometano e clorobenzeni; gli idrocarburi sono invece concentrati in specifiche zone del sito (presso ex centrale termica, ad esempio). Si osserva anche la presenza di almeno 1 *hot spot*, caratterizzato da elevate concentrazioni di clorobenzene e benzene.

Inquinanti inorganici

Per quanto riguarda i metalli, emerge quanto segue:

- In 19 sondaggi su 24, pari al 79%, si sono evidenziati superamenti delle CSC per suoli ad uso residenziali.
- In 12 sondaggi su 24, pari al 50%, si sono evidenziati superamenti delle CSC per suoli ad uso industriale.

Nella seguente tabella sono riportati i dettagli statistici relativi ai seguenti metalli utilizzati quali indicatori della contaminazione da inorganici:

- Arsenico, in quanto indicatore più rappresentativo (per frequenza di rilevamento oltre i limiti di riferimento) della contaminazione inorganica nell'area in esame.
- Mercurio, in quanto unico metallo potenzialmente volatile.
- Cadmio e Piombo, per la loro frequenza di rilevamento oltre i limiti di riferimento e per la loro tossicità.

Tabella 3.3 : Sottosuolo insaturo – inquinanti inorganici – parametri statistici

Inquinanti	Media geom. mg/kg	90° perc. mg/kg	Max mg/kg	> CSC res. %	> CSC ind. %
Arsenico	42,5	260,0	610	59,26%	44,44%
Mercurio	0,13	0,10	10	7,41%	7,41%
Cadmio	1,0	3,3	3,7	29,63%	0,00%
Piombo	43,2	230,0	5200	29,63%	3,70%

Infine, in **Tavola 5** è riportato il quadro riassuntivo della contaminazione da metalli, riferiti agli indicatori sopra riportati ed al superamento delle CSC sopraccitate (uso residenziale e uso industriale).

Dalle elaborazioni sopra riportate emerge una diffusa contaminazione da metalli, in particolare con riferimento all'arsenico, parametro per il quale si sono evidenziate estese aree con superamenti anche delle CSC per un uso industriale.

3.2.2 Falda superficiale

Per quanto riguarda la falda superficiale, si ha a disposizione un *set* di dati riferiti al periodo novembre 2004-settembre 2011 (vedi **Allegato 4**).

Gli inquinanti indicatori considerati per le successive elaborazioni sono i seguenti (vedi anche paragrafo precedente):

- Benzene;
- Triclorometano (TCM);
- Clorobenzene (MCB).

Sono stati esclusi dalla valutazione gli inquinanti inorganici (metalli) in quanto non generano né rischio sanitario (non sono volatili) né, come peraltro gli inquinanti organici, rischio ambientale (per la presenza di una barriera idraulica che protegge i recettori esterni dalla potenziale diffusione *off site* tramite le acque di falda).

In **Tavola 6** è riportato il quadro riassuntivo dei monitoraggi eseguiti nei vari piezometri presenti nel sito, dove sono evidenziati i gradi di superamento delle CSC (10, 100 o più volte). Nella **Tavola 7** si riportano i risultati riferiti a tutti i piezometri della falda superficiale restituiti dall'ultima campagna di monitoraggio disponibile.

Con particolare riferimento agli elaborati grafici citati, in estrema sintesi è possibile rilevare quanto segue:

- Un'area, corrispondente alla zona palancolata ed a valle della stessa (settore Sud Ovest), fortemente compromessa per la presenza di elevate concentrazioni di TCM, MCB e Benzene;
- Un'area, corrispondente alla zona palancolata ed a valle della stessa (settore Nord Est), anch'essa compromessa, sebbene su livelli inferiori, per la presenza nelle acque di falda superficiale di elevate concentrazioni di MCB, Benzene e, in misura minore, di TCM.

Le indagini eseguite hanno consentito, di individuare, a seguito della realizzazione di nuovi piezometri, anche la presenza nella porzione centrale del sito di un pennacchio di contaminazione che ha origine diversa dagli altri due ormai noti e che tende poi a confluire nel pennacchio di Sud - Ovest.

Tale pennacchio presenta concentrazioni significative di MCB e BTEX, mentre il fatto che non si rilevino concentrazioni significative di TCM conferma che l'origine di tale contaminazione non sia ascrivibile all'ex edificio O (corrispondente all'area palancolata nella porzione Sud Ovest del sito). E' invece presumibile che tale sorgente sia ubicata in corrispondenza della rete fognaria ubicata nel settore centrale del sito, rilevata ed in parte già rimossa, durante gli interventi di bonifica a stralcio della Fase 1.

In **Tavola 7** è riportata una rappresentazione dei pennacchi di contaminazione che interessano la falda superficiale.

3.3 Considerazioni conclusive

Dalle valutazioni di cui sopra e dai relativi elaborati grafici emerge chiaramente come lo scenario di contaminazione nell'ex area industriale non sia omogeneo ma, soprattutto per gli inquinanti organici, in funzione delle concentrazioni riscontrate nei terreni e nelle acque di falda, possa essere suddiviso in quattro settori principali, denominati secondo la loro ubicazione all'interno del sito rispetto ai punti cardinali.

Settore NW

Ad eccezione di n. 2 sondaggi, che riportano valori eccedenti le rispettive CSC per il MCB (sondaggio S1) e per gli idrocarburi (sondaggio S13), non si rilevano, limitatamente agli inquinanti organici, altre situazioni di potenziale contaminazione per il suolo insaturo. Per quanto riguarda gli inquinanti inorganici, si rilevano superamenti delle rispettive CSC, in particolare arsenico, piombo e cadmio, che interessano, con continuità più o meno evidente, tutto il suolo insaturo presente nel Settore NW.

Per quanto riguarda le acque di falda superficiale, il Settore NW è rappresentato dai piezometri Pz1, Pz3 e Pz23, in cui, durante le numerose campagne di monitoraggio delle acque, si sono riscontrati, salvo poche eccezioni, valori di concentrazione molto modesti per gli inquinanti organici. Nell'ultima campagna di monitoraggio, effettuata nel mese di giugno 2011 non si sono rilevati superamenti delle CSC per nessuno degli inquinanti indicatori, ad eccezione del MCB in cui si è rilevato un valore 125 µg/l nel Pz1 e 160 µg/l nel Pz3.

Settore NE

In corrispondenza del Settore NE è presente una delle due aree palancolate (aree di *focal point* della contaminazione). Come conseguenza, i livelli di contaminazione riscontrati in tale settore, in particolare per le acque di falda superficiale, sono molto importanti.

Nel suolo insaturo si rilevano concentrazioni eccedenti le CSC di riferimento per gli idrocarburi (nei sondaggi S8, S16, S17 e S23), per il MCB (sondaggi S8 e S23), per il benzene (sondaggio S23) e per il TCM (sondaggio S8).

Anche in questo caso, come evidenziato per il Settore NW, si rilevano diffusi superamenti delle rispettive CSC per alcuni metalli, in particolare per l'arsenico e il cadmio. Meno diffusi, invece i superamenti del piombo, per il quale si evidenzia un valore superiore alla CSC solo nel sondaggio S8.

Per quanto riguarda le acque di falda i rilievi idrochimici periodici eseguiti in posizione di valle idrogeologica rispetto al *focal point*, sia nei piezometri di monitoraggio (in particolare Pz9, Pz12, Pz26 e Pz37) che nei pozzi barriera (Bar1) presentano elevati livelli di contaminazione, in particolare per MCB, BTEX (benzene in particolare) e, sebbene con valori meno importanti, di TCM.

L'ultima campagna di monitoraggio, eseguita nel settembre 2011, registra i valori più alti nel piezometro Pz12 (dove si evidenzia un valore di MCB pari a 80.000 µg/l e un valore di Benzene pari a 520 µg/l).

Settore SE

Analogamente a quanto rilevato per il Settore NW, in corrispondenza del Settore SE, limitatamente agli inquinanti organici, non si rilevano particolari criticità: solo 2 sondaggi presentano lievi superamenti delle CSC per il TCM (S27 e S33). Più diffusa, invece, è la presenza nel terreno insaturo di inquinanti inorganici, in particolare arsenico, mercurio, piombo e cadmio, con concentrazioni superiori alle CSC di riferimento.

Le ultime campagne di monitoraggio delle acque di falda superficiale effettuate in corrispondenza dei piezometri di monitoraggio ubicati nel Settore SE (Pz11, Pz18, Pz27 e Pz40) mostrano valori inferiori, o in rare eccezioni leggermente superiori, alle relative CSC. Il pozzo barriera Bar 2, invece, evidenzia costantemente valori significativi per tutti gli inquinanti indicatori; nell'ultima campagna di monitoraggio i valori registrati per MCB, TCM e Benzene sono rispettivamente pari a 11.300, 2,1 e 170 µg/l.

Settore SW

In corrispondenza del Settore SW si trova il secondo focal point, confinato mediante installazione di palancole.

Per quanto riguarda gli inquinanti organici si rileva un solo superamento delle CSC di riferimento nel suolo insaturo, in corrispondenza del sondaggio S14, per il TCM. Per quanto riguarda gli inquinanti inorganici, si rilevano superamenti delle rispettive CSC in più sondaggi, con particolare riferimento ad arsenico, piombo e cadmio.

I piezometri di monitoraggio e i pozzi barriera ubicati a valle dell'area palancolata mostrano valori di contaminazione delle acque di falda superficiale molto elevati, in particolare per il TCM, il MCB e benzene. Durante l'ultima campagna di monitoraggio (settembre 2011), i valori di massimi di MCB, TCM e Benzene si sono registrati nel Pz20, con concentrazioni rispettivamente pari a 124.000, 130.000 µg/l e 470 µg/l.

Le indagini eseguite hanno consentito, di individuare, a seguito della realizzazione di nuovi piezometri, anche la presenza nella porzione centrale del sito di un pennacchio, caratterizzato principalmente da una contaminazione da MCB e BTEX, che ha origine diversa dagli altri due ormai noti e che tende poi a confluire nel pennacchio Sud - Ovest. I piezometri interessati da tale

pennacchio sono il Pz38 e il Pz36. Nel Pz38, durante la campagna di maggio 2007, si sono registrati valori di 53.000 µg/l per il MCB, di 730 µg/l per il Benzene e di 1,1 µg/l per il TCM. Il Pz36 registra nell'ultima campagna di monitoraggio (giugno 2011) valori pari a 25.000 µg/l per il MCB e di 360 µg/l per il Benzene.

4 Indagini sitospecifiche

Al fine di meglio tarare le elaborazioni e di rendere l'Analisi di Rischio il più sito-specifica possibile, si è ritenuto necessario procedere ad alcune indagini integrative di dettaglio. In particolare, tali indagini, eseguite nel mese di marzo 2007, hanno riguardato:

- Il campionamento dei terreni da sottoporre a speciazione degli idrocarburi, al fine di suddividere gli idrocarburi stessi in classi funzionali all'analisi del rischio.
- Il prelievo di alcuni campioni di terreno contaminato da metalli, al fine di sottoporli a test di eluizione in acqua satura di CO_2 (tempo di contatto 24 h) per valutare, su base sito specifica, il coefficiente di adsorbimento del Mercurio al suolo (Kd).

I certificati analitici restituiti dal laboratorio sono riportati all'**Allegato 5**.

4.1 Speciazione idrocarburi

Nella seguente Tabella sono riportati i risultati della speciazione degli idrocarburi pesanti su 2 campioni di suolo insaturo (S68/1 e S64/2) prelevati in prossimità della centrale termica. I risultati sono espressi in funzione del contenuto percentuale delle diverse frazioni idrocarburiche, sia aromatiche che alifatiche. L'ubicazione dei sondaggi presso i quali sono stati prelevati i 2 campioni è riportata in **Tavola 8**. Si evidenzia che tali speciazioni risultano necessarie per la stima del rischio secondo la metodologia proposta.

Tabella 4.1 : Speciazione idrocarburi in classi funzionali all'Analisi di Rischio

Frazioni idrocarburiche	S68/1	S64/2
HC 7-8 Alifatici	ND	ND
HC 8-10 Alifatici	ND	ND
HC 10-12 Alifatici	ND	ND
HC 8-10 Aromatici	ND	ND
HC 10-12 Aromatici	ND	ND
HC < 12 (Idrocarburi leggeri)	*ND*	*ND*
HC 12-16 Alifatici	2,03%	1,85%
HC 16-18 Alifatici	3,39%	4,63%
HC 18-35 Alifatici	93,43%	93,52%
HC 12-16 Aromatici	0,14%	ND

HC 16-21 Aromatici	0,81%	ND
HC 21-32 Aromatici	0,20%	ND
HC > 12 (Idrocarburi pesanti)	*100%*	*100%*

ND: valore sotto il limite di rilevabilità analitica

Le analisi effettuate evidenziano una netta prevalenza delle frazioni alifatiche (su tutte quelle più pesanti) su quelle aromatiche. E' utile evidenziare che, limitatamente alle frazioni leggere (HC<12) si è resa impossibile la quantificazione percentuale, essendo tali frazioni costantemente inferiori al limite di rilevabilità strumentale in entrambi i campioni.

Ai fini dell'analisi del rischio si è scelto di attribuire alla contaminazione da idrocarburi pesanti (HC>12) la speciazione di cui al campione S68/1, che massimizza il rischio ad esse correlato. Per quanto riguarda l'attribuzione in classi per gli idrocarburi leggeri occorrerà invece riferirsi a dati di letteratura scientifica.

4.2 Prove di eluizione

Quale premessa ai test di eluizione si vuole sottolineare che il fenomeno di lisciviazione / adsorbimento dei metalli assume rilevanza diversa a seconda di diversi fattori quali la granulometria del suolo, condizioni di pH, ecc. Le analisi dei metalli sia sull'eluato che sul tal quale consentono di calcolare, per via sperimentale e non solo teorica, il coefficiente di adsorbimento (Kd) dei metalli nei suoli; il coefficiente di adsorbimento è definito come il rapporto tra la concentrazione di una sostanza nel suolo (espressa sul tal quale) e quella nell'eluato; quanto maggiore è il Kd, quanto maggiore è la tendenza dell'inquinante a rimanere legato al suolo.

Nella seguente tabella sono riportati i risultati delle prove di eluizione in termini statistici. I risultati sono espressi in funzione del contenuto sulla matrice secca (mg/kg nel tal quale su mg/l nell'eluato). In questo senso, i risultati riportati nella successiva tabella sono equivalenti al coefficiente di adsorbimento al suolo (Kd) precedentemente descritto.

Nel caso in cui il valore di concentrazione nel campione eluato è risultato inferiore al limite strumentale analitico, il limite strumentale stesso è stato utilizzato come valore di riferimento da rapportare alla concentrazione rilevata sul campione tal quale.

Nella tabella sono riportati i seguenti parametri statistici relativi ai Kd, calcolati per mezzo delle prove di eluizione:

- Parametri statistici centrali (media aritmetica e geometrica)
- LCL 95% della media (valore consigliato da APAT)
- Valore minimo
- Valore di letteratura

Tabella 4.2 : log(Kd) derivati da prove di eluizione – Parametri statistici

Log (kd) → Inquinanti ↓	Media A	Media G	LCL 95% della media	Minimo	APAT 2008 (letteratura)
Antimonio	3,88	3,43	2,85	2,65	1,65
Arsenico	4,48	3,73	3,37	2,31	1,46
Berillo	4,06	4,03	3,87	3,81	3,23*
Cadmio	3,80	3,68	3,44	2,98	2,04*
Cobalto	4,82	4,33	3,90	2,51	1,74
Mercurio	**3,48**	**3,21**	**ND**	**2,85**	**1,91***
Piombo	6,03	5,83	5,59	5,02	1,74
Zinco	4,93	3,90	ND	3,16	1,87*
Rame	4,92	4,61	4,27	3,96	1,54

** per pH = 7*

ND = non disponibile in quanto la distribuzione non è lognormale

I sondaggi presso i quali sono stati prelevati i campioni inviati ai test di eluizione sono indicati in **Tavola 8**. Si tratta di n. 8 sondaggi, per un totale di n. 10 campioni prelevati prevalentemente in corrispondenza del suolo insaturo.

Dalle elaborazioni sopra riportate emerge che coefficienti di adsorbimento derivati dalle prove di eluizione, espressi su base logaritmica, sono costantemente superiori ai valori riportati in letteratura scientifica di settore.

Ai fini dell'analisi del rischio, per cui, come meglio specificato nei paragrafi seguenti, è stato considerato solo il mercurio (unico metallo potenzialmente volatile) è stato cautelativamente assunto a riferimento il valore minimo rilevato. Il valore è stato ottenuto con la seguente semplice equazione:

Log(Kd) = Log (conc. matrice solida*/ conc. matrice liquida)

* il valore è stato conservativamente corretto con la frazione riferita allo scheletro del campione e alla percentuale di umidità.

4.3 Frazione di carbonio organico (foc)

Nel mese di luglio 2009 sono stati analizzati n. 2 campioni di terreno superficiale, utilizzando le aliquote di terreno avanzate dalla campagna di indagine del marzo 2007, per la ricerca del parametro foc. Come si evince dai certificati analitici riportati nell'**Allegato 5**, nonostante siano passati più di 2 anni dal campionamento (rendendo il materiale organico presente suscettibile di degradazione), il valore di foc rilevato è pari a circa 1,5 e 1,3 %.

Dal momento che, come specificato dalle linee guida redatte da ISPRA (ex APAT), si prevede un numero minimo di 3 campioni per poter utilizzare il dato sito specifico, ai fini della presente Analisi di Rischio, seguendo l'approccio più conservativo, è stato utilizzato il valore di *default* proposto dal modello, pari a 0,01 g-C/g-suolo.

5 Indagini e valutazioni integrative a completamento della caratterizzazione

Come anticipato nel capitolo introduttivo, durante la Conferenza dei Servizi del 19 novembre 2010, il cui verbale è riportato nell'**Allegato 1a**, sono richiesti ulteriori approfondimenti conoscitivi dello stato della contaminazione presente nel sito in esame.

In particolare, sono state eseguite delle indagini integrative sia sulla matrice terreni (suolo insaturo) che sulle acque di falda, con le seguenti finalità:

- Completare le informazioni riguardanti l'orizzonte insaturo, in particolare per quelle porzioni di terreno che durante le indagini di caratterizzazione non sono state oggetto di campionamento.
- Estendere il protocollo analitico a tutti i parametri riportati nel D.Lgs. 152/06, ad eccezione di amianto e diossine per le acque di falda.
- Ricerca mediante uno screening in GC-MS di tutte le sostanze presenti nei terreni e nelle acque di falda e relativa valutazione del rischio correlato alle sostanze non comprese nell'elenco fornito dal D.Lgs. 152/06.

5.1 Indagini integrative sul terreno insaturo

5.1.1 Descrizione delle attività

In data 11 luglio 2011 è stata eseguita in contraddittorio con ARPAV una campagna di indagine finalizzata al prelievo e analisi di campioni di terreno rappresentativi del suolo insaturo.

Le indagini hanno riguardato l'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo per il prelievo di campioni di terreno nei punti e alle profondità indicati nella tabella seguente; l'ubicazione dei punti di campionamento è invece riportata nella **Tavola 9**.

Tabella 5.1 : Elenco campioni di terreno prelevati e profondità

Campione	Profondità (m da p.c.)	Campione	Profondità (m da p.c.)
S8bis/1	0,0-1,0	S19bis/1	1,2-1,9
S8bis/2	1,0-2,0	S21bis/1	0,3-1,0
S12bis/1	0,0-1,0	S23bis/1	0,0-1,0
S14bis/1	0,0-1,0	S24bis/1	0,0-1,0
S14bis/2	1,6-2,2	S31bis/1	0,6-1,5
S15bis/1	0,0-1,0	S37bis/1	1,2-1,6
S15bis/2	1,6-1,9	S40bis/1	1,0-1,8
S16bis/1	0,0-1,0	S45bis/1	0,0-1,0

Su tutti i campioni prelevati è stata eseguita non solo una ricerca completa di tutti i parametri previsti dal D.Lgs. 152/06 ma anche uno screening in GC-MS con lo scopo di rilevare tutte le sostanze presenti nella matrice indagata, comprese le sostanze non normate dal citato decreto.

5.1.2 Risultati analitici

I certificati analitici restituiti dal laboratorio Chelab S.r.l. e dal laboratorio ARPAV sono riportati nell'**Allegato 6**.

Nella seguente tabella sono riportati i valori eccedenti le CSC per i parametri compresi nell'elenco fornito dal D.Lgs. 152/06, sia rilevati dal laboratorio Chelab (vedi **Allegato 3b**) che da ARPAV. In tabella sono riportati esclusivamente i superamenti riferiti ai contaminanti volatili in quanto gli unici rilevanti ai fine della presente analisi di rischio; in rosso sono evidenziati i parametri che non sono stati riscontrati nelle analisi eseguite nelle precedenti fasi di caratterizzazione mentre in grassetto vengono riportati i massimi superamenti riscontrati per ciascun parametro.

Tabella 5.2 : Superamenti CSC rilevati dal laboratorio Chelab e da ARPAV

Parametri	Superamenti rilevati da Chelab (mg/kg)	Superamenti rilevati da ARPAV (mg/kg)
Mercurio	13.30 (S19/bis1), **26.6 (S24/bis1)**	
Cloroformio	**-**	0.3 (S23bis/1)
Somma dei DDD, DDE, DDT	0.1572 (S8/bis1), 0.0484 (S19/bis1)	**0.5 (S8/bis1)**
Policlorobifenili (PCB)Totali	0.6 (S8/bis1), 0.212 (S24/bis1)	**2.58 (S8/bis1)**
Clorobenzene	0.72 (S40/bis1)	**1.1 (S40/bis1)**
Benzo(a)pirene	-	**0.12 (S8/bis1)**
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	-	**0.12 (S8/bis1)**
Benzo(g,h,i)perilene	-	**0.14 (S8/bis1)**
Anilina	0.059 (S14/bis1), **1.46 (S19/bis1)**	
Idrocarburi >C12	124 (S8/bis1), **1200.0 (S16/bis1),** 180 (S19/bis1), 62 (S23/bis1), 160 (S24/bis1), 250 (S37/bis1), 112 (S45/bis1)	60 (S8/bis1)

Per quanto riguarda invece le sostanze non normate, in assenza di CSC di riferimento è stata eseguita, in accordo con gli Enti di controllo, un'analisi di rischio in modalità diretta, con lo scopo di verificare se la presenza delle massime concentrazioni rilevate per tali composti possa determinare, a livello sito specifico, un rischio non accettabile per i futuri utilizzatori del sito. Tale studio, descritto in dettaglio nel documento riportato nell'**Allegato 7** ha concluso che il solo 4-metiltiobenzaldeide può potenzialmente comportare un rischio ritenuto rilevante per gli utilizzatori del sito; tale parametro, pertanto, è stato inserito nella presente analisi di rischio.

5.2 Indagini integrative selle acque di falda

5.2.1 Descrizione delle attività

In data 6 settembre 2011 è stata eseguita in contraddittorio con ARPAV una campagna di indagine finalizzata al prelievo e analisi di campioni di acque di falda in corrispondenza del sito in esame.

In accordo con gli Enti, i prelievi dei campioni sono stati eseguiti nei seguenti piezometri:

- Piezometri intestati nella falda superficiale: Pz 12, PzV1 e Pz32P.

- Piezometri rappresentativi degli acquiferi confinati: Pz105 e Pz205.

Sui campioni prelevati sono stati ricercati tutti i parametri compresi nella Tabella 2 dell' Allegato 5, parte IV, Titolo V del D. Lgs 152/06, con esclusione di amianto e diossine.

5.2.2 Risultati analitici

I certificati analitici restituiti dal laboratorio Chelab S.r.l. e dal laboratorio ARPAV sono riportati nell'**Allegato 6**.

Nella seguente tabella sono riportati i valori eccedenti le CSC per i parametri compresi nell'elenco fornito dal D.Lgs. 152/06, sia rilevati dal laboratorio Chelab che da ARPAV.
In tabella sono riportati i massimi superamenti per ciascun parametro riferiti ai contaminanti volatili in quanto gli unici rilevanti al fine della presente analisi di rischio. In rosso vengono riportati i parametri che non sono stati riscontrati nelle analisi eseguite nelle precedenti fasi di caratterizzazione..

Tabella 5.3 : Superamenti CSC rilevati dal laboratorio Chelab e da ARPAV

Parametri	Superamenti rilevati da Chelab (µg/l)	Superamenti rilevati da ARPAV (µg/l)
Benzene	520 (Pz12)	500 (Pz12)
Etilbenzene	70 (Pz12)	-
Toluene	1410 (Pz32P)	3500 (Pz12)
p-Xilene	53 (Pz12)	60 (Pz12)
Anilina	27.36 (Pz12)	-
p-Toluidina	0.77 (Pz12)	-
Benzo (a) pirene	0.03 (Pz32P)	-
Benzo (g,h,i) perilene	0.04 (Pz32P)	0.021 (Pz32P)
Cloroformio	10800 (Pz32P)	12500 (Pz32P)
Cloruro di vinile	2.16 (Pz12)	-
Tricloroetilene	2.80 (Pz12 e Pz32P)	4.60 (Pz32P)
Tetracloroetilene	-	1.50 (Pz32P)
1,2 Dicloropropano	0.54 (Pz12)	-
Clorobenzene	80000 (Pz12)	100000 (Pz32P)
1,4 Diclorobenzene	115 (Pz12)	120 (Pz12 e Pz32P)
Idrocarburi totali (come n-esano)	1739.5 (Pz32P)	2100 (Pz12)

Analogamente a quanto eseguito per i terreni, anche per le sostanze non normate rilevate nelle acque di falda, in assenza di CSC di riferimento è stata eseguita un'analisi di rischio in modalità diretta, con lo scopo di verificare se la presenza delle massime concentrazioni rilevate per tali composti possa determinare, a livello sito specifico, un rischio non accettabile per i futuri utilizzatori del sito. Sulla base di tale studio, descritto in dettaglio nel documento riportato nell'**Allegato 8**, si è concluso che nessuno dei composti rilevati può potenzialmente comportare un rischio ritenuto rilevante per gli utilizzatori del sito.

6 Progetto urbanistico

6.1 Caratteri generali del progetto

In riferimento al grado ed alla distribuzione della contaminazione riscontrata (vedi Capitolo 3), è stato individuato un progetto di riqualificazione dell'area che sia compatibile con il contesto urbano circostante. In quest'ottica, il sito viene suddiviso in 3 subaree, o settori, ognuno caratterizzato da una differente destinazione d'uso a cui si accompagnano soluzioni edilizie di base che si intendono proporre come misura di sicurezza di supporto alle ipotesi di riconversione urbanistica.

Una suddivisione in subaree è, tra l'altro, suggerita da ISPRA, ex APAT, ("*Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta del rischio ai siti contaminati*", marzo 2008) nel caso in cui sussistano, come nel caso specifico, evidenti differenze di utilizzo dell'area perimetrata, nelle modalità di esposizione e/o nella tipologia dei recettori esposti.

In dettaglio, l'area viene suddivisa nei seguenti settori denominati secondo la loro ubicazione all'interno del sito rispetto ai punti cardinali:

- **Settore Nord**: una zona residenziale di circa 6.800 m^2 in cui saranno realizzati box auto e autorimesse al piano terra e circa 30.000 m^3 di volumetrie residenziali ai livelli superiori.

- **Settore Sud Est**: una zona di circa 4.900 m^2 per un'attrezzatura di interesse pubblico, assimilabile ad un uso commerciale per l'Analisi di Rischio, che attualmente è in fase di definizione, ma orientativamente riguarderà l'inserimento di una sede della Polizia locale con i relativi uffici e spazi di ricovero automezzi.

- **Settore Sud Ovest**: Una zona commerciale/ricreativa in cui trova spazio un parco urbano di circa 14.250 m^2, percorsi pedonali e ciclabili, e una struttura polifunzionale ad uso commerciale (ad esempio un punto di ristoro con possibili attività annesse).

Come ben rappresentato nella **Tavola 10**, il progetto individua inoltre le opere di urbanizzazione costituite da infrastrutture per la mobilità come strade, parcheggi, piste ciclabili e percorsi pedonali; le reti tecnologiche di illuminazione pubblica, fognatura, rete telefonica, rete idrica e rete gas.

Nel suo complesso, con un maggior grado di dettaglio, il progetto si configura secondo i seguenti dati urbanistici:

- Area di intervento: 36.280 m^2
- Area di comparto: 32.310 m^2
- Viabilità esterna al comparto: 3.160 m^2
- Viabilità interna al comparto: 2.680 m^2
- Parco e percorsi pedonali e ciclabili: 14.250 m^2
- Aree a parcheggio: 4.460 m^2
- Area ambito edificio vigili: 4.910 m^2
- Area ambito residenziale: 6.820 m^2
- Volume residenziale previsto fuori terra: 30.000 m^3
- Parcheggi e autorimesse al Pt: 5.000 m^2

6.2 Destinazione delle aree e soluzioni edilizie specifiche

Come già anticipato nel paragrafo precedente e rappresentato nelle figure seguenti (vedi anche **Tavola 10**), l'area è caratterizzata da uno scenario di utilizzo composito che prevede la presenza di una subarea adibita ad uso residenziale, di una subarea ad uso servizi ed infine di una subarea ad uso ricreativo (parco pubblico) in cui si ipotizza la presenza di un edificio ad uso commerciale.

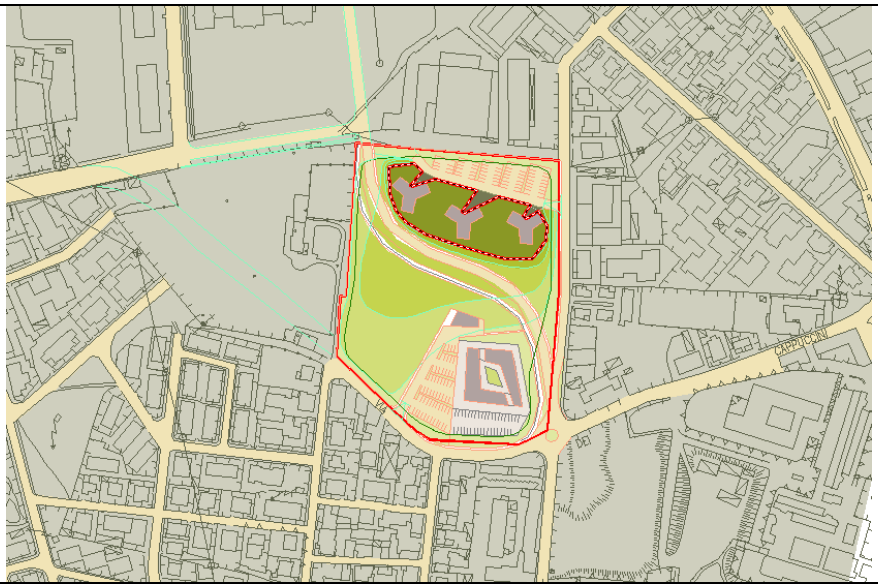

Figura 6.1 : Ipotesi di riutilizzo del sito

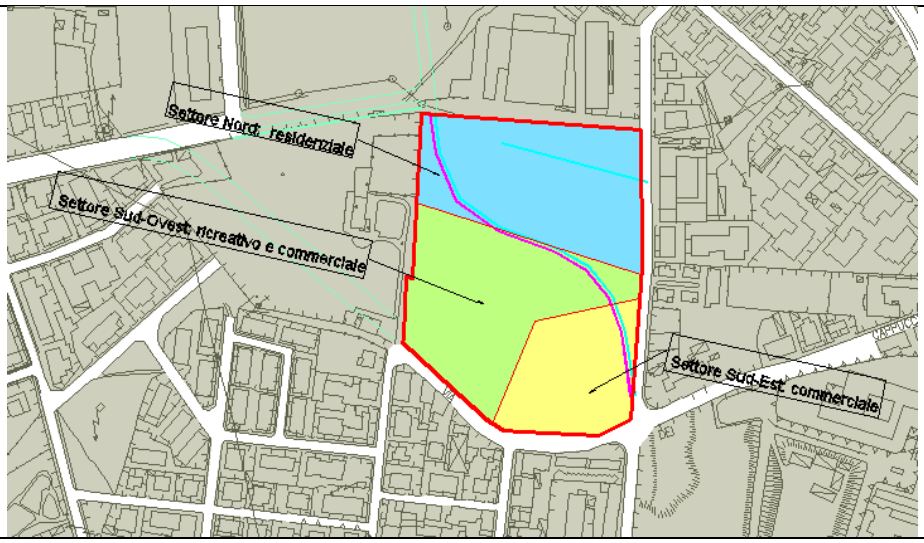

Figura 6.2 : Suddivisione del sito in settori, ognuno con una diversa destinazione d'uso

Entrando nel merito della soluzione progettuale individuata, nel Settore Nord si è localizzata una zona residenziale di circa 6.820 m^2, in cui si prevede la costruzione al piano terra di 5.000 m^2 di autorimesse e ai successivi 8 livelli un volume residenziale di circa 30.000 m^3, suddiviso in tre corpi di fabbrica. L'articolazione planimetrica proposta al perimetro dei volumi edificati, ben rappresentata nelle sezioni riportate nella **Tavola 11**, consente, elevando il terreno al livello del primo solaio, di mascherare completamente la piastra delle autorimesse. I locali al piano terra saranno adibiti esclusivamente ad autorimesse e corsie di manovra. Questi spazi saranno organizzati in box singoli da circa 15 m^2 o doppi da 30 m^2. Tutti i locali, compresi gli spazi di manovra, saranno dotati di aperture fisse per una ventilazione naturale o di impianto meccanico di trattamento aria che garantirà un ricambio minimo pari a un volume ora.

Nel Settore Sud-Est é prevista un'area di 4.910 m^2, in cui poter insediare un edificio di interesse pubblico assimilabile ad un uso commerciale per l'Analisi di Rischio, presumibilmente la sede della Polizia locale con i relativi uffici e idonei spazi per il ricovero degli automezzi. In questo insediamento non si prevedono locali interrati.

Nel Settore Sud-Ovest si individua un'area ricreativa composta da un parco pubblico di circa 14.250 m^2, attrezzato con percorsi ciclabili e pedonali ed un edificio polifunzionale a servizio del parco. Questo edificio è previsto senza vani interrati ed è compatibile con una funzione commerciale quale un punto di ristoro.

Due ampie aree a parcheggio sono dislocate a sud e a nord del lotto, per permettere un'accessibilità diretta a tutte le funzioni previste insediabili in progetto.

Per l'aspetto viabilistico la soluzione proposta prevede la costruzione di una rotatoria nell'intersezione tra via dei Cappuccini e via Monte Zovetto, con un nuovo asse viabilistico che attraversa trasversalmente il lotto fino al lato nord-ovest.

Le fondazioni di tutti gli edifici, sia residenziali che commerciali, previsti nel piano saranno realizzate mediante la formazione di platee di fondazione in calcestruzzo armato di spessore minimo 50 cm, supportate su palificate nelle situazioni di maggior carico. Dal punto di vista ambientale, lo spessore minimo previsto di cemento armato assicura la formazione di una barriera strutturale continua idonea a garantire la netta separazione tra il terreno sottostante e le attività insediate.

Infine, si prevede un innalzamento dal piano campagna di almeno 50 cm in corrispondenza delle zone pavimentate (edifici, strade e parcheggi) e di almeno 1 metro per le zone non pavimentate. Tale assunzione, sia in un caso che nell'altro, è indirizzata ad eliminare il contatto diretto col terreno contaminato, escludendo di fatto tale via di esposizione. Per quanto riguarda gli edifici i 50 cm di innalzamento coincidono con lo spessore della soletta delle fondazioni, mentre nel caso dei parcheggi/strade e, a maggior ragione, delle aree non pavimentate, lo spessore di innalzamento desiderato (0,5 o 1 metro) è completato mediante la posa di terreno di qualità conforme alla destinazione d'uso. In particolare è prevista la posa di 1 m di terreno vegetale nelle aree a parco/giardino, mentre nelle altre situazioni (per. es. aree pavimentate, strade, base degli edifici) le quote previste saranno assicurate da un riporto di 30 cm di materiale idoneo e specifico per l'opera soprastante e da ulteriori 20 cm costituiti da pavimentazioni e massicciate per strade e percorsi pedonali, da platee di fondazione per le aree interessate da edificazione edilizia.

Come si evince dalle sezioni di progetto riportate nella **Tavola 11**, allo scopo di pervenire alle quote desiderate si prevede una fascia perimetrale di transizione, di larghezza massima pari a 5 metri, che congiunge, con una pendenza regolare, le zone esterne al sito (strada urbana di Via Monte Zovetto o di Via dei Cappuccini) con le aree in rilevato interne al sito (vedi paragrafo seguente).

Si precisa che la scelta di innalzare la quota del terreno esistente è stata assunta in fase progettuale come elemento ordinatore. Nell'ipotesi proposta gli spazi aperti sono articolati altimetricamente con quote massime previste di quattro/cinque metri più elevate rispetto alle attuali in corrispondenza dell'area residenziale.

Nella tabella seguente sono specificate le destinazioni d'uso e le soluzioni urbanistiche previste per ogni settore d'interesse.

Tabella 6.1 : Suddivisione in settori in funzione del progetto urbanistico proposto

Settore	Scenario	Recettori	Soluzioni edilizie specifiche
Nord	Residenziale - con box auto alla base degli edifici	Uso continuativo dell'area che prevede la presenza di adulti e bambini. L'inalazione *indoor* è riferita all'utilizzo non continuativo dei box auto.	Innalzamento del piano di campagna di almeno 50 cm in corrispondenza delle zone pavimentate (edifici / parcheggio) e di almeno 1 metro in corrispondenza delle zone non pavimentate. Edifici con box auto alla base provvisti di un sistema di ventilazione che garantisce un ricambio d'aria all'ora. Soletta fondazioni di spessore pari ad almeno a 50 cm.
Sud Est	Servizi/Commerciale	Uso non continuativo dell'area che prevede la presenza di soli adulti. Viene in ogni caso valutata la presenza di residenti (adulti e bambini) nel settore adiacente.	Innalzamento del piano di campagna di almeno 50 cm in corrispondenza delle zone pavimentate (edifici / parcheggio) e di almeno 1 metro in corrispondenza delle zone non pavimentate. Edifici privi di piani interrati. Soletta fondazioni edifici di spessore pari ad almeno a 50 cm.
Sud Ovest	Ricreativo (parco pubblico) + presenza edificio ad uso commerciale	Uso non continuativo dell'area che prevede la presenza di adulti e bambini (ambito ricreativo) e adulti (ambito commerciale). Viene in ogni caso valutata la presenza di residenti (adulti e bambini) nel settore adiacente.	Innalzamento del piano di campagna di almeno 1 metro. Edifici privi di piani interrati. Soletta fondazioni edifici di spessore pari ad almeno a 50 cm.

6.3 Fascia di transizione

Col termine "fascia di transizione" s'intende quella porzione perimetrale del sito, di larghezza massima pari a 5 metri, caratterizzata da una pendenza regolare funzionale a raccordare le aree esterne al sito con quelle interne (più elevate). Tale situazione comporta la necessità di rimuovere parte del terreno esistente per garantire, lungo tutta la sezione del margine, il riporto di almeno un metro di materiale idoneo alla destinazione d'uso, come assunto dall'Analisi di Rischio.

Lo stesso criterio operativo dovrà essere adottato nel caso in cui altre aree all'interno dei vari settori individuati nel sito non dovessero rispettare le quote assunte come misura di sicurezza. In altre parole, qualora il piano campagna previsto dal progetto non dovesse mantenere un franco di terreno idoneo alla destinazione d'uso di 1 metro nelle aree non pavimentate e 0,5 metri nelle aree pavimentate, sarà prevista la rimozione del terreno in posto sino a soddisfare tale assunzione.

Si precisa che gli edifici industriali all'interno dell'area verranno demoliti e si andranno a rimuovere anche tutte le relative strutture di fondazione ed eventuali piani seminterrati. Dal momento che i fabbricati occupano la maggior parte del perimetro dell'area, si avrà una situazione di confine con le zone esterne in cui il riporto di materiale idoneo alla destinazione d'uso sarà di spessore superiore al metro minimo.

6.4 Aspetti costruttivi fondazioni edifici

Le fondazioni degli edifici saranno sostenute da un intervento di palificazione allo scopo di trasmettere il peso della sovrastruttura a strati nel sottosuolo capaci di fornire una sufficiente resistenza al carico. I dettagli operativi di tale intervento non hanno alcuna influenza rispetto alle assunzioni su cui si sviluppa l'Analisi di Rischio. Si ricorda, inoltre, che, come precisato nelle linee guida "*Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta del rischio ai siti contaminati*" (Rev2, marzo 2008) redatto da APAT (oggi ISPRA), l'Analisi di Rischio non è tecnicamente applicabile alla valutazione della sicurezza nei cantieri di lavoro. Pertanto, si rimanda ad un documento progettuale dedicato i dettagli operativi di tali interventi.

7 Modello concettuale e parametri di input

7.1 Premessa

La presente Analisi di Rischio di livello II è stata redatta utilizzando la procedura internazionale ASTM PS 104-98, sviluppata attraverso l'ausilio del software "RBCA Tool Kit for Chemical Releases, Version 1.3b".

L'Analisi di Rischio può essere svolta secondo due differenti modalità:

- *Forward* o diretta, ovvero date le concentrazioni ambientali rilevate viene calcolato il rischio per le diverse vie di esposizione considerate.
- *Backward* o inversa, ovvero definito un rischio ammissibile, si calcolano le concentrazioni obiettivo della bonifica o CSR (Concentrazioni Soglia del Rischio) secondo l'attuale normativa.

Con riferimento alla finalità del presente documento e nel contesto del D.Lgs. 152/06, che è appunto quella di calcolare le CSR (Concentrazioni Soglia di Rischio) obiettivo della bonifica, la presente Analisi di Rischio è stata sviluppata secondo la modalità *backward* o inversa.

7.2 Obiettivi dell'Analisi di Rischio

Le procedure d'analisi del rischio prevedono la suddivisione delle sostanze inquinanti in due grandi categorie: sostanze cancerogene e sostanze non cancerogene.

Per le sostanze cancerogene, il rischio viene calcolato come incremento della probabilità di contrarre il cancro a seguito di una data esposizione (dose giornaliera specifica che una persona assume in seguito all'esposizione all'inquinante); l'equazione che lega il rischio all'esposizione è la seguente:

$$\boxed{R = E \times SF}$$

Dove SF ($(mg*kg^{-1}*d^{-1})^{-1}$), *Slope Factor*, è il parametro tossicologico riferito alla sostanza cancerogena considerata.

Per quanto concerne le sostanze non cancerogene, il rischio viene calcolato secondo la seguente espressione:

$$HQ = E/RfD$$

dove HQ (Hazard Quotient) rappresenta l'indice di rischio, E l'esposizione e RfD la dose massima giornaliera ammissibile o Reference Dose ($mg*kg^{-1}*d^{-1}$).

Gli indici di rischio sopra riportati possono essere riferiti alla singola sostanza, ovvero alla somma di più sostanze presenti nel punto di esposizione.

Le sostanze coinvolte nella contaminazione presentano sia effetti cancerogeni (solventi clorurati, IPA, nichel, ecc.) che non cancerogeni (molti metalli, idrocarburi pesanti, difenile, ecc.).

I limiti di accettabilità del rischio assunti a riferimento, in conformità a quanto previsto dal decreto correttivo D.Lgs. 4/08, sono i seguenti:

- Effetti non cancerogeni: HQ (Hazard Quotient) pari a 1, sia per la sostanza singola che per il rischio cumulato.
- Effetti cancerogeni: TR (Target Risk) pari a 10^{-6} per la sostanza singola, e 10^{-5} per il rischio cumulato.

Le CSR calcolate tramite l'analisi del rischio dovranno quindi essere tali da rispettare i limiti sopra esposti per le vie di esposizione considerate.

7.3 COC (*Chemicals of Concern*)

Le procedure di analisi del rischio previste dal D.Lgs. 152/06 impongono l'effettuazione dell'analisi del rischio per tutti quegli inquinanti per i quali sono stati evidenziati superamenti dei valori soglia di contaminazione (CSC). In aggiunta, sulla base dello studio riportato nell'**Allegato 7**, è stato inserito per il suolo insaturo anche il 4-metiltiobenzaldeide tra le sostanze da sottoporre ad analisi di rischio in quanto, sebbene non compreso nell'elenco fornito dal D.Lgs. 152/06, è stato ritenuto potenzialmente rilevante in termini di rischio per gli utilizzatori del sito.

Si ricorda nuovamente che, nella maggior parte dei casi, i valori di concentrazione utilizzati per lo studio dei livelli di contaminazione funzionale all'Analisi di Rischio sono stati ricavati direttamente dalle indagini di caratterizzazione eseguite ai sensi del DM 471/99. Pertanto, seguendo l'approccio più conservativo, non è stata eseguita alcuna rielaborazione dei dati di

caratterizzazione, nonostante la vigente normativa, a differenza della precedente, preveda di rapportare il valore ricavato sulla frazione inferiore ai 2 mm all'intero scheletro del campione (frazione fino a 2 cm), operando, di fatto, una diluizione del dato di concentrazione.
Inoltre, è necessario premettere che, poiché l'analisi del rischio è stata sviluppata secondo la modalità inversa (*backward*), con la finalità di definire le CSR (*Concentrazioni Soglia di Rischio*) piuttosto che il rischio legato alla presenza di una contaminazione, le concentrazioni inserite nel modello non costituiscono un elemento sensibile o che possa condizionare le valutazioni ed i risultati di seguito riportati (calcolo delle CSR). A solo titolo conoscitivo, si evidenzia che nei codici di calcolo del modello utilizzato si sono inserite le massime concentrazioni ambientali rilevate durante le indagini di caratterizzazione.

Nella tabella seguente si riportano gli inquinanti di riferimento per lo sviluppo dell'Analisi di Rischio, suddivisi per tipologia di matrice ambientale.

Per quanto riguarda i parametri DDT, DDD e DDE, dal momento che i risultati analitici restituiti dai laboratori (Chelab e ARPAV) hanno fornito unicamente un valore pari alla sommatoria dei tre composti (senza alcuna speciazione), l'analisi di rischio è stata condotta considerando il valore come se fosse unicamente riferito al DDT, in quanto, tra i tre composti, è quello con i parametri tossicologici più conservativi.

Tabella 7.1: Inquinanti di riferimento per l'analisi del rischio

Inquinanti	Suolo insaturo	Falda superficiale
Mercurio	x	-
Benzene *	x	x
Etilbenzene *	x	x
Toluene	x	x
Xilene	x	x
Triclorometano *	x	x
Tricloroetilene *	x	x
Tetracloroetilene *	x	x
1,1 - Dicloroetano	x	-
1,2 - Dicloroetilene	x	-
1,2, Dicloropropano *	-	x
Cloruro di vinile *	-	x
Monoclorobenzene	x	x
1,2 (o) Duclorobenzene	-	x
1,4 (p) Diclorobenzene *	x	x

Inquinanti	Suolo insaturo	Falda superficiale
Esaclorobenzene *	-	x
Anilina *	x	x
DDT *	x	-
PCBs *	x	-
p-toluidina *	-	x
Benzo(a)pirene *	x	x
Indenopirene *	x	-
Benzo(g,k,i)perilene	x	x
4-metiltiobenzaldeide	x	-
Idrocarburi leggeri	x	-
Idrocarburi pesanti	x	-
Idrocarburi totali	-	x

* : inquinante cancerogeno

x : inquinante presente

- : inquinante non presente

Per quanto riguarda gli idrocarburi leggeri (HC<12) e pesanti (HC>12), al di là della concentrazione di *input*, risulta essenziale l'attribuzione in classi funzionali all'analisi del rischio. Gli idrocarburi pesanti (HC>12) sono stati suddivisi in funzione dei risultati delle speciazioni effettuate (vedi Capitolo 4). Per quanto concerne gli idrocarburi leggeri, invece, in assenza di dati spendibili provenienti dalle analisi effettuate, la speciazione è stata ipotizzata utilizzando dati bibliografici "*Atlantic RBCA (Risk-Based Corrective Action) - Reference Documentation For Petroleum Impacted Sites Version 1.0*" - *April* 1999, suddivisione dei gasoli). Le frazioni risultanti (in termini percentuali), sia per gli idrocarburi leggeri che per quelli pesanti, sono sintetizzate nella seguente tabella.

Tabella 7.2: Composizione percentuale idrocarburi leggeri e pesanti nel suolo insaturo

Frazioni idrocarburiche	Composizione percentuale
HC 8-10 Alifatici	16%
HC 10-12 Alifatici	61%
HC 8-10 Aromatici	3%
HC 10-12 Aromatici	19%
HC < 12 (Idrocarburi leggeri)	**100%**
HC 12-16 Alifatici	2,03%

HC 16-18 Alifatici	3,39%
HC 18-35 Alifatici	93,43%
HC 12-16 Aromatici	0,14%
HC 16-21 Aromatici	0,81%
HC 21-32 Aromatici	0,20%
HC > 12 (Idrocarburi pesanti)	**100%**

La suddivisione in classi sopra proposta si riferisce alla sola matrice suolo, sulla quale sono state realizzate le analisi chimiche; per quanto riguarda la matrice acque di falda, la suddivisione degli idrocarburi in frazioni non rispecchia quanto rilevato nei suoli; difatti, l'abbondanza di una frazione rispetto ad un'altra dipende essenzialmente dalla capacità di tale frazione di lisciviare dal suolo verso la falda; tale capacità è inversamente proporzionale al coefficiente di adsorbimento al suolo, definito dal parametro K_{oc}; pertanto, in assenza di specifici elementi analitici, si sono simulate concentrazioni in falda inversamente proporzionali al relativo coefficiente K_{oc}, ottenendo la ripartizione percentuale esposta nella tabella seguente.

Tabella 7.3: Composizione percentuale idrocarburi in falda

Frazioni idrocarburiche	Composizione percentuale
HC 8-10 Alifatici	0,085 %
HC 10-12 Alifatici	0,085 %
HC 8-10 Aromatici	32,50 %
HC 10-12 Aromatici	32,50 %
HC 12-16 Alifatici	0,085 %
HC 16-18 Alifatici	0,085 %
HC 18-35 Alifatici	2,89E-05 %
HC 12-16 Aromatici	11,60 %
HC 16-21 Aromatici	11,60 %
HC 21-32 Aromatici	11,60 %
Idrocarburi totali	**100%**

I metalli, ad eccezione del mercurio, non sono stati considerati nel calcolo delle CSR, in quanto, non essendo volatili, possono ingenerare solo un rischio legato al contatto diretto oppure alla produzione e successiva inalazione di polveri; dal momento che è prevista la posa di almeno 1 metro di terreno non contaminato sulle aree non pavimentate e di almeno 50 cm di terreno non contaminato / soletta di fondazione sulle aree pavimentate (parcheggio / edifici), tale via di esposizione è da considerarsi non ipotizzabile.

Si ricorda nuovamente che la lisciviazione in falda dal suolo insaturo è stata esclusa dalle vie di esposizione per la presenza di una barriera idraulica a garanzia dei recettori esterni al sito.

7.4 Modello concettuale

La definizione del modello concettuale del sito è uno dei momenti "chiave" di un'Analisi di Rischio in quanto determina scenari e vie di esposizione da considerare all'interno della procedura in oggetto.

In particolare, in questa fase, vengono definite le modalità con cui gli inquinanti possono venire in contatto con i recettori potenzialmente esposti alla contaminazione stessa; affinché vi sia contatto tra contaminante e recettore, è necessario che:

- esista una sorgente di contaminazione;
- esista un (eventuale) trasporto tra sorgente e recettore;
- esistano recettori (potenzialmente) presenti nell'intorno del sito.

Nel caso in esame si vuole investigare il rischio sanitario (legato all'uso del suolo) in funzione di un'ipotesi di riconversione urbanistica dell'area.

Si vogliono premettere due importanti assunzioni alla base delle successive elaborazioni del modello concettuale e seguenti elaborazioni:

- Per quanto attiene il rischio sanitario, è stata esclusa quale modalità di esposizione quella legata al contatto diretto (ingestione, contatto dermico, inalazione di polveri) con il suolo contaminato; tale assunzione deriva dal fatto che, come descritto al capitolo precedente, l'attuale piano campagna (o quello finale, a seguito delle operazioni di bonifica) verrà ricoperto da uno strato idoneo di suolo non contaminato / soletta di fondazione (di spessore pari ad almeno 1 metro nelle aree non pavimentate e ad almeno 50 centimetri nelle aree pavimentate), che renderà di fatto inattiva questa via di esposizione.

- Il rischio ambientale non è stato incluso nel presente studio, in quanto, come anticipato nel capitolo introduttivo, è stata esclusa la diffusione *off site* della contaminazione con le acque di falda, vista la presenza di una barriera idraulica a garanzia dei recettori esterni all'area in oggetto. Per lo stesso motivo, anche la lisciviazione in falda dal suolo insaturo è stata esclusa dalle vie di esposizione.

Nella tabella seguente è riportato il modello concettuale utilizzato per la presente analisi del rischio, con riportati scenari di utilizzo del suolo, vie di esposizione considerate, matrici ambientali (suolo insaturo e falda superficiale) e inquinanti (organici e inorganici).

Tabella 7.4: Modello concettuale per l'Analisi di Rischio

Matrici ambientali → Settore Scenario ↓ Vie di esposizione - recettore	Insaturo Organici	Insaturo Inorganici	Falda superf. Organici	Falda superf. Inorganici
Settore Nord				
Residenziale con box auto alla base degli edifici				
Inalazione *outdoor on site* - residenti	X	- (*)	X	-
Inalazione *indoor* - utilizzatori box auto: adulti e bambini				
Settore SE				
Servizi (Assimilabile a Commerciale)				
Inalazione *outdoor on site* - lavoratori	X	- (*)	X	-
Inalazione *outdoor off site* - residenti				
Inalazione *indoor* - lavoratori				
Settore SW				
Ricreativo (parco) - Commerciale				
Inalazione *outdoor on site* - utilizzatori parco: adulti e bambini	X	- (*)	X	-
Inalazione *outdoor on site* - lavoratori				
Inalazione *outdoor off site* - residenti				
Inalazione *indoor* - lavoratori				

X: Via di esposizione attiva

- : Via di esposizione inattiva

(*): tranne il mercurio che è un metallo potenzialmente volatile

Con riferimento allo schema del modello concettuale descritto nella precedente tabella, si specifica quanto segue:

- Per quanto riguarda l'utilizzo del suolo (rischio sanitario) si sono investigati i seguenti scenari:
  - residenziale con presenza di box auto (garage) alla base degli edifici;
  - servizi (assimilabile a commerciale);
  - commerciale + ricreativo (area a verde, parco pubblico con presenza di edificio ad uso commerciale).

- Per tutti gli scenari è prevista la presenza di ambienti confinati, per i quali è possibile l'inalazione *indoor*; le CSR sono state calcolate in presenza di misure di sicurezza aggiuntive, quali un maggiore spessore della soletta di base, l'interposizione di foglio impermeabile sul fondo della soletta stessa, un sistema di ventilazione nei box ad uso residenziale che garantisca almeno un ricambio d'aria all'ora e l'innalzamento del piano campagna mediante posa di terreno idoneo alla destinazione d'uso (almeno 0,5 metri nelle aree pavimentate e 1 metro nelle aree non pavimentate).

- Per l'utilizzo *on site*, quali recettori sono stati considerati gli adulti e bambini (residenziale e ricreativo); solo per lo scenario ad uso unicamente commerciale (Settore Sud Est) sono stati considerati quali utilizzatori i soli adulti (lavoratori).

- Per lo scenario ricreativo e per quello commerciale è stata valutata come ulteriore via di esposizione l'inalazione *outdoor off site* da parte dei residenti (adulti e bambini) presenti nelle vicinanze.

- Non è stato valutato il rischio sanitario legato alle falde confinate, in quanto tali acquiferi non generano rischio in relazione all'uso del suolo (la diffusione dei vapori è impedita dalla presenza di orizzonti impermeabili tra l'acquifero e il piano campagna); pertanto, il calcolo delle CSR relative al comparto acque sotterranee si riferisce alla sola falda superficiale.

7.5 Parametri di input del modello

In questo paragrafo vengono descritti i parametri che permettono la risoluzione delle equazioni di rischio, così come previste dalla procedura ASTM e utilizzate dal software "*RBCA Tool Kit for Chemical Releases, Version 1.3b*".

I valori dei parametri richiesti ed inseriti nel modello, siano essi sito specifici ovvero di "*default*" (valori consigliati all'utilizzatore in mancanza di dati relativi al sito), hanno tutti la caratteristica di operare in modo conservativo; in altre parole, i parametri inseriti nel modello e l'insieme delle assunzioni effettuate, tendono a sovrastimare il rischio per le diverse vie di esposizione considerate.

7.5.1 Parametri relativi al sito

Per quanto riguarda le dimensioni della contaminazione si sono considerate le massime estensioni, calcolate mediante i poligoni di Thiessen (vedi **Tavola 12**), rilevate nei 3 settori e, seguendo l'approccio più conservativo, il valore più alto è stato quindi introdotto come parametro di input indistintamente per tutti i settori, in particolare:

Nel suolo insaturo si è ipotizzata conservativamente una dimensione della sorgente pari a 6.500 m^2 . La lunghezza della sorgente in direzione sia parallela che ortogonale rispetto alla direttrice principale del vento, seguendo l'approccio più conservativo, è stata assunta in entrambi i casi pari a 130 metri (vedi **Tavola 12**).

Nella falda si è ipotizzata una dimensione della sorgente più rilevante (in realtà sono presenti 2 pennacchi di contaminazione separati, più un terzo pennacchio centrale di ridotte dimensioni che si congiunge al pennacchio ubicato in corrispondenza dell'area palancolata a Sud-Ovest del sito), pari a circa 10.000 m^2, con un lunghezza massima pari a 125 metri (vedi **Tavola 13**).

In questo modo risulta evidente che per quanto riguarda la dimensione della sorgente, sia nel suolo insaturo che nella falda superficiale, non solo viene considerato lo scenario sito specifico più critico, ma si rende anche ininfluente nel calcolo delle CSR l'ubicazione dei 3 settori all'interno del sito.

La profondità della contaminazione relativa all'insaturo si attesta attorno a 1,5 metri dall'attuale piano campagna, profondità alla quale si incontra la falda superficiale. Considerando tuttavia l'innalzamento del piano campagna di almeno 50 cm in corrispondenza delle aree pavimentate e di almeno 1 m nelle aree non pavimentate lo spessore di terreno insaturo contaminato è stato posto da 0,5 m a 2 m dal p.c. (rispettando l'approccio più conservativo tali quote sono state imposte anche nelle aree non pavimentate).

Dal momento che, come descritto nei paragrafi precedenti, la falda evidenzia valori di soggiacenza variabili sia in funzione del tempo (oscillazioni stagionali) che dello spazio (variazioni legate alla ubicazione dei piezometri in aree con diverse permeabilità o in prossimità di

palancole), secondo l'approccio ritenuto più conservativo si è impostato nel modello un livello di falda pari ad appena 1 metro. Questa assunzione permette di soddisfare la distanza tra falda e piano campagna in corrispondenza della cosiddetta "area di transizione", con cui si identifica quella sottile area al perimetro del sito necessaria per raccordare aree più rialzate (interno del sito) con aree a quote definite (strade comunali che corrono all'esterno del sito).

Nella tabella seguente si riportano i principali dati di input relativi alla geometria della sorgente nelle matrici ambientali di interesse. Un completo quadro riassuntivo dei parametri di input inseriti nel modello è riportato nell'**Allegato 9**.

Tabella 7.5: Principali parametri di input relativi alla geometria della sorgente

Parametro di input	Valore	Note
Profondità del top della sorgente rispetto al p.c. – suolo insaturo	0,5 m	Valore sito-specifico che tiene conto di una sopraelevazione di 0,5 m per le aree pavimentate e di 1 m per le aree non pavimentate.
Profondità della base della sorgente rispetto al p.c. – suolo insaturo	2 m	Valore sito-specifico che tiene conto di una sopraelevazione di 0,5 m per le aree pavimentate e di 1 m per le aree non pavimentate.
Superficie della sorgente – suolo insaturo	6.500 m^2	Valore sito-specifico che tiene conto della massima estensione della contaminazione rilevata in tutti i settori.
Estensione della sorgente in direzione ortogonale e parallela alla direzione del vento – suolo insaturo	130 m	Valore sito-specifico che tiene conto della massima estensione della contaminazione rilevata nei vari settori.
Soggiacenza della falda superficiale dal p.c.	1 m	Valore conservativo derivato da una significativa oscillazione della falda e da una disomogeneità dei livelli di soggiacenza nelle varie aree del sito.
Estensione della sorgente rispetto alla direzione prevalente del vento – falda superficiale	125 m	Valore sito-specifico che si riferisce alla massima estensione dei pennacchi di contaminazione confinati nei vari settori.

In riferimento alla classificazione USDA, la tipologia di suolo insaturo è stata cautelativamente assimilata ad una sabbia limosa (SM nella figura seguente), sebbene, in relazione ai diversi profili stratigrafici restituiti dalle indagini di caratterizzazione, la componente limosa sia generalmente prevalente; i parametri relativi a porosità, frazione di aria ed acqua nel suolo, permeabilità ai vapori, ecc. si riferiscono pertanto a questa tipologia di terreno e sono definiti di *default* dal modello di Analisi di Rischio.

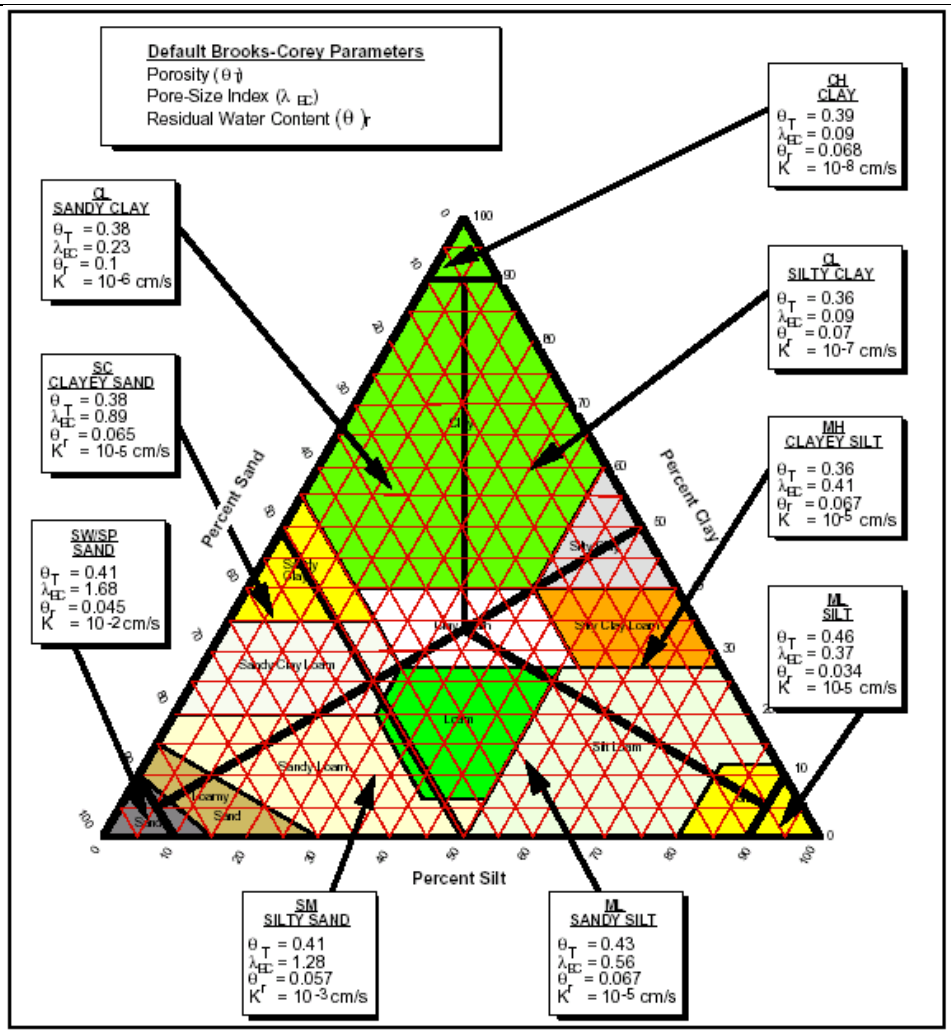

Figura 7.1 : Classificazione del suolo secondo il triangolo USDA

Per quanto riguarda il valore che si riferisce alla frazione di carbonio organico (foc), è stato introdotto il dato di *default* (0,01); tale valore, se confrontato con i dati sito specifici ottenuti su alcuni campioni di terreno prelevati nell'area (vedi paragrafo 4.3 e **Allegato 5**) è da ritenersi conservativo.

La velocità del vento, importante per la definizione dell'inalazione *outdoor*, è stata ricavata dai rilievi effettuati dal Centro Meteorologico di Teolo in corrispondenza delle stazioni meteo più

prossime all'area (stazione di Lonigo e di Malo, vedi **Allegato 10a**). Il valore medio fornito dalle due stazioni, relativi al triennio 1998-2000 è pari a circa 1,6 m/s. In riferimento a quanto riportato nelle linee guida redatte da ISPRA (ex APAT, 2008) il dato, riferito alla quota di 10 metri dal p.c., è stato corretto al fine di stimare la velocità in corrispondenza della zona di miscelazione, posta a 2 metri dal p.c., mediante la seguente relazione empirica:

$$Uair\ (z_1) / Uair\ (z_2) = (z_1 / z_2)^{p}$$

dove p è funzione della classe di stabilità atmosferica e della rugosità del suolo, mentre z_1 e z_2 sono le altezze a cui si riferisce il valore di velocità dell'aria (*Uair*). Stimando un grado di instabilità debole (classe C, stabilita di *default* dal modello per simulare la dispersione atmosferica dei contaminanti volatili) e una rugosità del suolo tipica di un contesto urbano, è stato attribuito un valore di p pari a 0,20. Mediante la formula citata si ottiene un valore pari a circa 1 m/s, utilizzato nella presente Analisi di Rischio come dato di *input*. Tale valore è confrontabile con i valori di velocità del vento registrati dalla stazione meteo installata direttamente in sito durante le attività di cantiere eseguite nel corso del 2008, la cui media annuale è pari a circa 1,17 m/s (vedi **Allegato 10b**).

Come già accennato nella Tabella 7.5, per quanto concerne i parametri di *input* correlati alla direzione principale del vento, nel modello sono state conservativamente inserite le estensioni massime misurate nelle sorgenti di contaminazione, sia per il suolo insaturo che per le acque sotterranee (vedi **Tavole 12** e **13**).

L'inalazione *outdoor off site* da parte dei residenti, valutata per il Settore Sud Est (uso commerciale) e per il Settore Sud Ovest (uso ricreativo/commerciale) è stata calcolata considerando cautelativamente una distanza di appena 10 metri dalla sorgente.

Per quanto riguarda, invece, la caratterizzazione degli spazi confinati, importante per la definizione della via d'esposizione relativa all'inalazione *indoor*, si sono adottate assunzioni diverse per le destinazioni d'uso residenziale e commerciale.

Tabella 7.6: Parametri di input relativi agli spazi confinati

Parametro	Unità di misura	Uso residenziale (box auto)	Uso commerciale
Rapporto tra volume indoor e area d'infiltrazione	m	1,05	3
Superficie area coinvolta nell'infiltrazione	m^2	34,2	70
Perimetro area coinvolta nell'infiltrazione	m	25,6	34

Tasso di ricambio d'aria	1/sec	2,8E-04	2,3E-04
Profondità delle fondazioni	m	0,5	0,5
Spessore delle fondazioni	m	0,5	0,5
Frazione areale fratture	adim.	0,001	0,001
Contenuto volumetrico di acqua nelle fratture	adim.	0,12	0,12
Contenuto volumetrico di aria nelle fratture	adim.	0,26	0,26

Valori di default proposti dal modello per la specifica destinazione d'uso

Valori sito-specifici

Nella tabella soprastante sono riportati i principali parametri di input relativi agli spazi confinati inseriti nel modello; i valori *default* proposti dal modello per la specifica destinazione d'uso sono segnalati in blu, mentre i valori sito-specifici, descritti in dettaglio di seguito, sono segnalati in rosso.

Nel settore ad uso residenziale (Settore Nord), come già descritto nei paragrafi precedenti, si prevede la presenza di box auto alla base degli edifici. Come si evince chiaramente dalle sezioni progettuali riportate nella **Tavola 11**, la quota a cui si trova la pavimentazione dei box auto rispetta le assunzioni di base cui si riferisce l'Analisi di Rischio. L'ipotesi progettuale, inoltre, prevede un innalzamento del livello topografico di circa 4 metri in corrispondenza degli edifici residenziali in risposta all'esigenza, principalmente estetica, di ricoprire il piano box auto mediante posa di terreno idoneo alla destinazione d'uso. Tale soluzione permette di nascondere alla vista il piano dei box creando, di fatto, un piano interrato a servizio dei livelli ad uso residenziale soprastanti.

Nel rispetto dell'approccio più conservativo, i parametri di input inseriti nel modello considerano per il box auto interrato una superficie coinvolta nell'infiltrazione dei vapori comprensiva sia del pavimento sia di al massimo 2 pareti (laterale e di fondo). Una serie di box disposti uno in fianco all'altro, infatti, comporta al massimo due pareti a contatto col terreno circostante.

In conformità con la vigente normativa antincendio, per ogni box auto si considerano le seguenti caratteristiche dimensionali:

- Altezza minima: 2,4 metri
- Larghezza (box singolo): circa 3 metri
- Profondità: circa 5 metri

Inoltre, sarà installato un impianto di ventilazione capace di garantire per ciascun box almeno un ricambio di aria all'ora (2,8 $*10^{-4}$ ricambi al secondo).

Come anticipato nei capitoli precedenti, le fondazioni degli edifici previsti nel piano saranno realizzate mediante la formazione di platee di fondazione in calcestruzzo armato di spessore minimo 50 cm, supportate su palificate nelle situazioni di maggior carico. Lo spessore minimo previsto di cemento armato assicura la formazione di una barriera strutturale continua idonea a garantire la netta separazione tra il terreno sottostante e le attività insediate.
Per quanto riguarda il grado di fatturazione della soletta, il valore proposto di *default* dal modello per solette aventi uno spessore di 15 cm è pari a 1%. Nella presente Analisi di Rischio, in forza del fatto che lo spessore della soletta è stato posto pari a 50 cm, è stato inserito un valore rappresentativo della presenza di fratture pari allo 0,1%, corrispondente al valore centrale proposto dagli stessi estensori del modello di diffusione per edifici esistenti ("Identification of critical parameter for the Jhonson and Ettinger vapor intrusion model", P.C. Jhonson, API Bulletin 17, May 2002). Tale valore è pertanto da ritenersi tanto più conservativo per edifici di nuova realizzazione, per di più se realizzati, come nel caso specifico, con una soletta di spessore pari a 50 cm. In **Allegato 11** si riporta la relazione peritale redatta dall'Ing. Picinelli che analizza le modalità costruttive da adottare per la realizzazione di piastre di fondazione in conglomerato cementizio armato negli edifici previsti dal progetto urbanistico.

7.5.2 Parametri di esposizione

Nella seguente tabella sono riportati, in conformità con quanto previsto dal documento APAT "*Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta del rischio ai siti contaminati*" (marzo 2008), i parametri di esposizione relativi ai diversi recettori e scenari di uso del suolo considerati nella presente analisi del rischio.

I parametri riportati hanno tenuto in considerazione le richieste di cui al verbale della Conferenza dei Servizi del 19 Novembre 2010 (vedi **Allegato 1a**), in particolare il tasso di inalazione outdoor residenziale, che è stato posto pari a 1,5m^3/ora per gli adulti e 1,2m^3/ora per i bambini, e la frequenza giornaliera di esposizione riferita ai box auto, che è stata posta pari a 12 ore.

Tabella 7.7: Parametri di esposizione

Modalità di esposizione / Recettore	Parametro	Valore
Adulti (residenti o lavoratori)	Peso corporeo	70 kg
Bambini (residenti)	Peso corporeo	15 kg
Adulti / Bambini	Tempo di mediazione per non canc.	365*ED (d)
Adulti	Durata esposizione	24-25 yr
Bambini	Durata esposizione	6 yr
Inalazione *indoor/outdoor* – Lavoratori (adulti)	Frequenza esposizione EF	250 d/yr

Inalazione *indoor/outdoor* – Lavoratori (adulti)	Frequenza giornaliera di esposizione EFg	8 h/d
Inalazione *outdoor* – Lavoratori (adulti)	Tasso di inalazione IRA	2,5 mc/h
Inalazione *indoor* – Lavoratori (adulti)	Tasso di inalazione IRA	1,5 mc/h
Inalazione *indoor/outdoor* – Residenti (bambini)	Frequenza esposizione	350 d/yr
Inalazione *indoor/outdoor* – Residenti (bambini)	Frequenza giornaliera di esposizione	24 h/d
Inalazione *outdoor* – Residenti (bambini)	Tasso di inalazione	1,2 mc/h
Inalazione *indoor* – Residenti (bambini)	Tasso di inalazione	0,7 mc/h
Inalazione *indoor/outdoor* – Residenti (adulti)	Frequenza esposizione	350 d/yr
Inalazione *indoor/outdoor* – Residenti (adulti)	Frequenza giornaliera di esposizione	24 h/d
Inalazione *outdoor* – Residenti (adulti)	Tasso di inalazione	1,5 mc/h
Inalazione *indoor* – Residenti (adulti)	Tasso di inalazione	0,9 mc/h
Inalazione *outdoor* – Ricreativo (bambini)	Frequenza esposizione	350 d/yr
Inalazione *outdoor* – Ricreativo (bambini)	Frequenza giornaliera di esposizione	3 h/d
Inalazione *outdoor* – Ricreativo (bambini)	Tasso di inalazione	1,9 mc/h
Inalazione *outdoor* – Ricreativo (adulti)	Frequenza esposizione	350 d/yr
Inalazione *outdoor* – Ricreativo (adulti)	Frequenza giornaliera di esposizione	3 h/d
Inalazione *outdoor* – Ricreativo (adulti)	Tasso di inalazione	3,2 mc/h
Inalazione *indoor* – Box auto (bambini)	Frequenza esposizione	350 d/yr
Inalazione *indoor* – Box auto (bambini)	Frequenza giornaliera di esposizione	3 h/d
Inalazione *indoor* – Box auto (bambini)	Tasso di inalazione	0,7 mc/h
Inalazione *indoor* – Box auto (adulti)	Frequenza esposizione	350 d/yr
Inalazione *indoor* – Box auto (adulti)	Frequenza giornaliera di esposizione	12 h/d
Inalazione *indoor* – Box auto (adulti)	Tasso di inalazione	0,9 mc/h

** : 25 anni per esposizione di tipo commerciale*

I parametri di esposizione inseriti nel modello sono stati opportunamente corretti (vedi **Allegato 12b**) al fine di tenere conto dei comportamenti espositivi tipici, riportati in tabella, a volte diversi da quelli simulati di *default* da software.

7.5.3 Parametri tossicologici e chimico-fisici

Le caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche delle sostanze coinvolte nella contaminazione, ed in particolare quelle dei parametri indicatori, sono state integralmente derivate dal database più aggiornato (maggio 2009) proposto da ISS e ISPESL, con alcune eccezioni, di seguito descritte. In **Allegato 9** si riporta un quadro completo dei valori chimico-fisici e tossicologici utilizzati nel modello.

Per quanto riguarda gli idrocarburi, sono stati inseriti i dati riportati dal MADEP (configurazione consigliata da APAT), secondo l'adattamento proposto dalla Provincia di Milano (Giuditta versione 3.1) che meglio calza la suddivisione, prevista nella normativa italiana, tra idrocarburi leggeri ed idrocarburi pesanti.

I metalli, ad eccezione del mercurio, non sono stati considerati nel calcolo delle CSR, in quanto, non essendo volatili, possono ingenerare solo un rischio legato al contatto diretto oppure alla produzione e successiva inalazione di polveri; dal momento che è prevista la posa di almeno 1 metro di terreno non contaminato sulle aree non pavimentate e di 50 centimetri di terreno o soletta in cls sulle aree pavimentate, tale via di esposizione è da considerarsi non ipotizzabile. Per quanto riguarda il mercurio, invece, unico metallo potenzialmente volatile, è stato inserito nel modello il coefficiente di adsorbimento al suolo (Kd) desunto dalle prove di eluizione effettuate; in particolare, è stato assunto a riferimento il valore minimo di Kd restituito dalle prove di eluizione (vedi Capitolo 4).

7.6 Analisi delle vie di trasporto

Il calcolo della concentrazione nel punto di esposizione può essere effettuato tramite modelli analitici o numerici. I modelli analitici sono più semplici, ma coinvolgono diverse semplificazioni del modello fisico (caratteristiche del mezzo, geometria della sorgente, condizioni al contorno). Questo tipo di modelli è quello utilizzato all'interno del livello II di analisi del rischio.
Il risultato dei diversi modelli di trasporto e diffusione utilizzati all'interno della procedura di analisi del rischio, consiste nel calcolo di un fattore naturale di attenuazione (NAF), che rappresenta il rapporto tra la concentrazione presso la sorgente inquinante rispetto alla concentrazione nel punto di esposizione; nel caso di esposizione diretta (ingestione di suolo e contatto dermico), ovviamente il NAF risulta pari a 1.
Per quanto riguarda i modelli utilizzati nella presente analisi del rischio, viene di seguito fornita una breve descrizione; ulteriori informazioni sono rinvenibili nel manuale d'uso del software "*RBCA Tool Kit for Chemical Releases, Version 1.3b*", Groundwater Services, 1998.

7.6.1 Volatilizzazione in ambienti esterni e dispersione atmosferica

La volatilzzazione in ambienti esterni è stata simulata attraverso il modello ASTM *surface soil volatilization model* (1998), che permette il calcolo di un VF (*Volatilization Factor*); tale parametro rappresenta la concentrazione atmosferica legata alla concentrazione nel suolo e determinata dal flusso di vapori provenienti dal sottosuolo stesso (tale concentrazione è stimata direttamente al di sopra della sorgente contaminata). La concentrazione atmosferica al di sopra della sorgente subisce poi una ulteriore diluizione dovuta al trasporto del contaminante con il vento; tale

fenomeno, che interessa i potenziali recettori *off site*, è stato simulato attraverso l'utilizzo del modello tridimensionale gaussiano. Nel caso specifico, tuttavia, è stata cautelativamente impostata nel modello una distanza minima dalla sorgente (10 metri) che annulla completamente il fenomeno di dispersione provocato dal vento.

7.6.2 Volatilizzazione in ambienti interni

Il fenomeno di volatilizzazione dal terreno contaminato verso gli ambienti interni è stato simulato attraverso il modello analitico di *Johnson e Ettinger*, in grado di stimare e quantificare la diffusione dei vapori provenienti dal sottosuolo, attraverso le fratture eventualmente presenti all'interno delle fondamenta dell'edificio stesso.

8 Calcolo delle CSR

Nei paragrafi successivi vengono presentati i risultati dell'analisi del rischio sviluppata sulla base delle ipotesi e procedure precedentemente citate. I risultati delle analisi sono espressi in termini di CSR (*Concentrazioni Soglia di Rischio*), che rappresentano pertanto i nuovi obiettivi di bonifica dell'area.

I criteri per il calcolo delle CSR ricalcano le procedure proposte dall'APAT (marzo 2008); in particolare, le CSR sono calcolate separatamente per le seguenti matrici ambientali / vie di esposizione:

1. Suolo insaturo – Esposizione *outdoor* (inalazione vapori *on site* e *off site*). Dal momento che è prevista la posa di terreno non contaminato / soletta di fondazione ed il conseguente innalzamento del p.c. di almeno 1 metro per le aree non pavimentate e di almeno 50 centimetri per le aree pavimentate sono escluse le seguenti vie di esposizione: ingestione, contatto dermico e l'inalazione di polveri.
2. Suolo insaturo – Esposizione *indoor* (inalazione di vapori)
3. Acque sotterranee – Inalazione di vapori *outdoor*
4. Acque sotterranee – Inalazione di vapori *indoor*

Quali CSR rappresentative delle diverse matrici ambientali si sono assunti i seguenti valori:

- Suolo insaturo: il minore dei valori calcolati secondo i precedenti punti 1 e 2
- Acque sotterranee: il minore dei valori calcolati secondo i precedenti punti 3 e 4.

In **Allegato 9** sono riportati gli output originali del *software* di Analisi del Rischio utilizzato per il calcolo delle CSR.

Negli **Allegati 12** e **13** sono riportati i calcoli per la derivazione delle CSR, a partire dai risultati dell'analisi del rischio di cui al modello sopraccitato.

8.1 CSR per le singole sostanze

8.1.1 CSR Suolo Insaturo

Nelle seguenti Tabelle sono riportate le CSR relative alla matrice suolo insaturo, suddivise per ogni settore di interesse. Nell'ultima colonna è riportata la CSR assunta a riferimento (la minore tra quelle calcolate).

Tabella 8.1: CSR suolo insaturo – Settore Nord (Residenziale, con box auto alla base degli edifici)

Parametro	Inalazione *Outdoor* mg/kg	Inalazione *Indoor* mg/kg	CSR mg/kg
Mercurio	1.78E+00	1.48E+02	**1.78E+00**
Benzene	1.00E+00	2.42E-01	**2.42E-01**
Etilbenzene	7.56E+00	4.53E+00	**4.53E+00**
Toluene	5.91E+02	2.58E+02	**2.58E+02**
Xilene	1.03E+03	5.30E+02	**5.30E+02**
Triclorometano	3.62E-01	7.66E-02	**7.66E-02**
Tricloroetilene	4.86E+00	1.05E+00	**1.05E+00**
Tetracloroetilene	1.39E+00	3.05E-01	**3.05E-01**
1,1 - Dicloroetano	7.39E+02	1.30E+02	**1.30E+02**
1,2 - Dicloroetilene	5.17E+01	1.50E+01	**1.50E+01**
Monoclorobenzene	2.95E+01	4.21E+01	**2.95E+01**
1,4 (p) Diclorobenzene	1.32E+00	8.03E+00	**1.32E+00**
Anilina	1.06E+01	1.43E+03	**1.06E+01**
DDT	5.53E+01	7.49E+05	**5.53E+01**
PCB	2.92E-01	1.26E+02	**2.92E-01**
Benzo(a)pirene	4.26E+00	9.03E+04	**4.26E+00**
Indeno(1,2,3,c,d)Pirene	1.32E+02	6.73E+06	**1.32E+02**
Benzo(g,h,i)Perilene	1.88E+05	4.42E+09	**1.88E+05**
4 Metiltiobenzaldeide	1.33E+01	1.98E+02	**1.33E+01**
Idrocarburi leggeri	1.76E+02	1.16E+03	**1.76E+02**
Idrocarburi pesanti	4.43E+03	5.00E+04	**4.43E+03**

Tabella 8.2: CSR suolo insaturo – Settore Sud-Est (Servizi/Commerciale)

PARAMETRO	Inalazione *Outdoor- on site* mg/kg	Inalazione *Outdoor - off site* mg/kg	Inalazione *Indoor* mg/kg	CSR mg/kg
Mercurio	9.17E+00	1.78E+00	1.58E+03	**1.78E+00**
Benzene	2.34E+00	1.00E+00	1.31E+00	**1.00E+00**
Etilbenzene	1.77E+01	7.56E+00	2.44E+01	**7.56E+00**
Toluene	2.78E+03	5.91E+02	2.77E+03	**5.91E+02**
Xilene	4.86E+03	1.03E+03	5.69E+03	**1.03E+03**
Triclorometano	8.45E-01	3.62E-01	4.13E-01	**3.62E-01**
Tricloroetilene	1.14E+01	4.86E+00	5.65E+00	**4.86E+00**
Tetracloroetilene	3.24E+00	1.39E+00	1.64E+00	**1.39E+00**
1,1 - Dicloroetano	3.47E+03	7.39E+02	1.40E+03	**7.39E+02**
1,2 - Dicloroetilene	2.43E+02	5.17E+01	1.61E+02	**5.17E+01**
Monoclorobenzene	1.39E+02	2.95E+01	4.51E+02	**2.95E+01**
1,4 (p) Diclorobenzene	3.09E+00	1.32E+00	4.33E+01	**1.32E+00**
Anilina	5.48E+01	1.06E+01	1.54E+04	**1.06E+01**
DDT	1.42E+02	5.53E+01	4.03E+06	**5.53E+01**
PCB	7.48E-01	2.92E-01	6.77E+02	**2.92E-01**
Benzo(a)pirene	1.09E+01	4.26E+00	4.87E+05	**4.26E+00**
Indeno(1,2,3,c,d)Pirene	3.38E+02	1.32E+02	3.63E+07	**1.32E+02**
Benzo(g,h,i)Perilene	9.69E+05	1.88E+05	4.74E+10	**1.88E+05**
4 Metiltiobenzaldeide	6.25E+01	1.33E+01	2.12E+03	**1.33E+01**
Idrocarburi leggeri	8.28E+02	1.76E+02	1.25E+04	**1.76E+02**
Idrocarburi pesanti	2.12E+04	4.43E+03	5.36E+05	**4.43E+03**

Tabella 8.3: CSR suolo insaturo – Settore Sud-Ovest (Ricreativo / Commerciale)

Parametro	Inalazione *Outdoor- on site* mg/kg	Inalazione *Outdoor - off site* mg/kg	Inalazione *Indoor* mg/kg	CSR mg/kg
Mercurio	5.40E+00	1.78E+00	1.58E+03	**1.78E+00**
Benzene	2.57E+00	1.00E+00	1.31E+00	**1.00E+00**
Etilbenzene	1.94E+01	7.56E+00	2.44E+01	**7.56E+00**
Toluene	1.79E+03	5.91E+02	2.77E+03	**5.91E+02**
Xilene	3.13E+03	1.03E+03	5.69E+03	**1.03E+03**

Parametro	Inalazione *Outdoor- on site* mg/kg	Inalazione *Outdoor - off site* mg/kg	Inalazione *Indoor* mg/kg	CSR mg/kg
Triclorometano	9.29E-01	3.62E-01	4.13E-01	**3.62E-01**
Tricloroetilene	1.25E+01	4.86E+00	5.65E+00	**4.86E+00**
Tetracloroetilene	3.56E+00	1.39E+00	1.64E+00	**1.39E+00**
1,1 - Dicloroetano	2.24E+03	7.39E+02	1.40E+03	**7.39E+02**
1,2 - Dicloroetilene	1.57E+02	5.17E+01	1.61E+02	**5.17E+01**
Monoclorobenzene	8.95E+01	2.95E+01	4.51E+02	**2.95E+01**
1,4 (p) Diclorobenzene	3.39E+00	1.32E+00	4.33E+01	**1.32E+00**
Anilina	3.23E+01	1.06E+01	1.54E+04	**1.06E+01**
DDT	1.42E+02	5.53E+01	4.03E+06	**5.53E+01**
PCB	7.50E-01	2.92E-01	6.77E+02	**2.92E-01**
Benzo(a)pirene	1.09E+01	4.26E+00	4.87E+05	**4.26E+00**
Indeno(1,2,3,c,d)Pirene	3.39E+02	1.32E+02	3.63E+07	**1.32E+02**
Benzo(g,h,i)Perilene	5.70E+05	1.88E+05	4.74E+10	**1.88E+05**
4 Metiltiobenzaldeide	4.03E+01	1.33E+01	2.12E+03	**1.33E+01**
Idrocarburi leggeri	5.34E+02	1.76E+02	1.25E+04	**1.76E+02**
Idrocarburi pesanti	1.34E+04	4.43E+03	5.36E+05	**4.43E+03**

Con riferimento alle precedenti tabelle e al quadro complessivo dei dati di output forniti dal modello riportato nell'**Allegato 9**, è possibile rilevare che nei Settori Sud-Est e Sud-Ovest, le CSR sono riconducibili alla potenziale inalazione di vapori *outdoor* sia per i composti non cancerogeni che cancerogeni. Il rischio derivante dall'inalazione vapori *outdoor* è riconducibile esclusivamente alla potenziale inalazione di vapori da parte di residenti che si trovano nelle vicinanze delle due subaree. Si ricorda che è stata cautelativamente impostata nel modello una distanza minima dalla sorgente (10 metri) che annulla completamente il fenomeno di dispersione provocato dal vento.

8.1.2 CSR Falda superficiale

Nelle seguenti Tabelle sono riportate le CSR relative alla matrice falda superficiale, suddivise per ogni settore di interesse. Nell'ultima colonna è riportata la CSR assunta a riferimento (la minore tra quelle calcolate).

Tabella 8.4: CSR Falda superficiale – Settore Nord (Residenziale, con box auto alla base degli edifici)

Parametro	Inalazione *Outdoor* µg/l	Inalazione *Indoor* µg/l	CSR µg/l
Benzene	5.19E+02	3.53E+02	**3.53E+02**
Etilbenzene	3.78E+03	2.23E+03	**2.23E+03**
Toluene	2.91E+05	1.80E+05	**1.80E+05**
Xilene	4.75E+05	2.73E+05	**2.73E+05**
Triclorometano	2.14E+02	1.63E+02	**1.63E+02**
Tricloroetilene	1.86E+03	1.04E+03	**1.04E+03**
Tetracloroetilene	3.72E+02	1.84E+02	**1.84E+02**
1,2, Dicloropropano	3.54E+02	3.32E+02	**3.32E+02**
Cloruro di vinile	1.41E+02	5.91E+01	**5.91E+01**
Monoclorobenzene	2.22E+04	1.88E+04	**1.88E+04**
1,2 (o) Diclorobenzene	3.14E+05	3.75E+05	**3.14E+05**
1,4 (p) Diclorobenzene	1.29E+03	1.33E+03	**1.29E+03**
Esaclorobenzene	5.13E+01	4.23E+02	**5.13E+01**
Anilina	1.16E+05	2.77E+06	**1.16E+05**
p-toluidina	1.41E+03	3.14E+04	**1.41E+03**
Benzo(a)Pirene	4.08E+02	9.46E+03	**4.08E+02**
Benzo(g,h,i)Perilene	1.18E+07	2.79E+08	**1.18E+07**
Idrocarburi totali	4.11E+04	2.73E+04	**2.73E+04**

Tabella 8.5: CSR Falda superficiale – Settore Sud-Est (Servizi/Commerciale)

PARAMETRO	Inalazione *Outdoor- on site* µg/l	Inalazione *Outdoor- off site* µg/l	Inalazione *Indoor* µg/l	CSR µg/l
Benzene	1.46E+03	5.19E+02	1.90E+03	**5.19E+02**
Etilbenzene	1.06E+04	3.78E+03	1.20E+04	**3.78E+03**
Toluene	1.64E+06	2.91E+05	1.93E+06	**2.91E+05**
Xilene	2.68E+06	4.75E+05	2.93E+06	**4.75E+05**
Triclorometano	6.00E+02	2.14E+02	8.77E+02	**2.14E+02**
Tricloroetilene	5.21E+03	1.86E+03	5.62E+03	**1.86E+03**
Tetracloroetilene	1.04E+03	3.72E+02	9.94E+02	**3.72E+02**
1,2, Dicloropropano	9.93E+02	3.54E+02	1.79E+03	**3.54E+02**

PARAMETRO	Inalazione *Outdoor- on site* µg/l	Inalazione *Outdoor- off site* µg/l	Inalazione *Indoor* µg/l	CSR µg/l
Cloruro di vinile	3.96E+02	1.41E+02	3.19E+02	**1.41E+02**
Monoclorobenzene	1.25E+05	2.22E+04	2.02E+05	**2.22E+04**
1,2 (o) Diclorobenzene	2.65E+05	4.71E+04	6.04E+05	**4.71E+04**
1,4 (p) Diclorobenzene	3.62E+03	1.29E+03	7.17E+03	**1.29E+03**
Esaclorobenzene	1.44E+02	5.13E+01	2.28E+03	**5.13E+01**
Anilina	6.53E+05	1.16E+05	2.97E+07	**1.16E+05**
p-toluidina	3.97E+03	1.41E+03	1.69E+05	**1.41E+03**
Benzo(a)Pirene	1.14E+03	4.08E+02	5.10E+04	**4.08E+02**
Benzo(g,h,i)Perilene	6.63E+07	1.18E+07	3.00E+09	**1.18E+07**
Idrocarburi totali	2.32E+05	4.11E+04	2.93E+05	**4.11E+04**

Tabella 8.6: CSR Falda superficiale – Settore Sud-Ovest (Ricreativo / Commerciale)

Parametro	Inalazione Outdoor µg/l	Inalazione *Outdoor- off site* µg/l	Inalazione *Indoor* µg/l	CSR µg/l
Benzene	1.33E+03	5.19E+02	1.90E+03	**5.19E+02**
Etilbenzene	9.72E+03	3.78E+03	1.20E+04	**3.78E+03**
Toluene	8.80E+05	2.91E+05	1.93E+06	**2.91E+05**
Xilene	1.44E+06	4.75E+05	2.93E+06	**4.75E+05**
Triclorometano	5.49E+02	2.14E+02	8.77E+02	**2.14E+02**
Tricloroetilene	4.77E+03	1.86E+03	5.62E+03	**1.86E+03**
Tetracloroetilene	9.56E+02	3.72E+02	9.94E+02	**3.72E+02**
1,2, Dicloropropano	9.09E+02	3.54E+02	1.79E+03	**3.54E+02**
Cloruro di vinile	3.63E+02	1.41E+02	3.19E+02	**1.41E+02**
Monoclorobenzene	6.73E+04	2.22E+04	2.02E+05	**2.22E+04**
1,2 (o) Diclorobenzene	1.43E+05	4.71E+04	6.04E+05	**4.71E+04**
1,4 (p) Diclorobenzene	3.31E+03	1.29E+03	7.17E+03	**1.29E+03**
Esaclorobenzene	1.32E+02	5.13E+01	2.28E+03	**5.13E+01**
Anilina	3.51E+05	1.16E+05	2.97E+07	**1.16E+05**
p-toluidina	3.63E+03	1.41E+03	1.69E+05	**1.41E+03**
Benzo(a)Pirene	1.05E+03	4.08E+02	5.10E+04	**4.08E+02**
Benzo(g,h,i)Perilene	3.56E+07	1.18E+07	3.00E+09	**1.18E+07**
Idrocarburi totali	1.24E+05	4.11E+04	2.93E+05	**4.11E+04**

Con riferimento alle precedenti tabelle, è possibile rilevare che per i Settori SE e SW le CSR sono riconducibili esclusivamente alla potenziale inalazione di vapori *outdoor* dei residenti ubicati in corrispondenza o nelle immediate vicinanze della sorgente (la distanza minima prevista in caso di inalazione *off site* non comporta alcuna riduzione rispetto all'inalazione *on site*). Per tale motivo, per ogni parametro le CSR riferite alla falda superficiale sono identiche nei due settori d'interesse.

8.2 CSR cumulate

Al fine di rispettare i valori limite stabiliti dalla normativa di settore e/o dalle linee guida APAT (2008) per il rischio cumulato, pari a 10^{-5} per le sostanze cancerogene e pari 1 per le sostanze non cancerogene, le CSR calcolate per le singole sostanze sono state ridotte di un fattore correttivo (vedi **Allegato 13**).

Le CSR così modificate, riportate nelle tabelle seguenti, rappresentano pertanto gli obiettivi della bonifica per le matrici e i settori di interesse.

8.2.1 CSR Suolo Insaturo

Tabella 8.7: CSR cumulate suolo insaturo

Parametro	CSR Settore Nord mg/kg	CSR Settore SE mg/kg	CSR Settore SW mg/kg
Mercurio	**8.01E-01**	**8.01E-01**	**8.01E-01**
Benzene	**2.42E-01**	**1.00E+00**	**1.00E+00**
Etilbenzene	**3.62E+00**	**3.78E+00**	**3.78E+00**
Toluene	**5.16E+00**	**5.91E+00**	**5.91E+00**
Xilene	**1.06E+01**	**1.03E+01**	**1.03E+01**
Triclorometano	**7.66E-02**	**3.62E-01**	**3.62E-01**
Tricloroetilene	**1.05E+00**	**1.07E+00**	**1.07E+00**
Tetracloroetilene	**3.05E-01**	**4.16E-01**	**4.16E-01**
1,1 - Dicloroetano	**1.96E+00**	**1.11E+00**	**1.11E+00**
1,2 - Dicloroetilene	**4.50E-01**	**4.65E-01**	**4.65E-01**
Monoclorobenzene	**6.00E+00**	**5.32E+00**	**5.32E+00**
1,4 (p) Diclorobenzene	**1.32E+00**	**1.32E+00**	**1.32E+00**
Anilina	**5.32E-01**	**5.32E-01**	**5.32E-01**
DDT	**1.11E+01**	**1.11E+01**	**1.11E+01**

PCB	**2.92E-01**	**2.92E-01**	**2.92E-01**
Benzo(a)pirene	**4.26E+00**	**4.26E+00**	**4.26E+00**
Indeno(1,2,3,c,d)Pirene	**1.32E+02**	**1.32E+02**	**1.32E+02**
Benzo(g,h,i)Perilene	**1.88E+02**	**1.88E+02**	**1.88E+02**
4 Metiltiobenzaldeide	**7.98E-01**	**7.98E-01**	**7.98E-01**
Idrocarburi leggeri	**1.32E+01**	**1.32E+01**	**1.32E+01**
Idrocarburi pesanti	**3.32E+02**	**3.32E+02**	**3.32E+02**

8.2.2 CSR Falda superficiale

Tabella 8.8: CSR cumulate Falda superficiale

Parametro	**CSR Settore Nord µg/l**	**CSR Settore SE µg/l**	**CSR Settore SW µg/l**
Benzene	**3.53E+02**	**5.19E+02**	**5.19E+02**
Etilbenzene	**2.23E+03**	**1.89E+03**	**1.89E+03**
Toluene	**8.98E+03**	**5.81E+03**	**5.81E+03**
Xilene	**1.37E+04**	**9.51E+03**	**9.51E+03**
Tricloromet ano	**1.63E+02**	**2.14E+02**	**2.14E+02**
Tricloroetilene	**1.04E+03**	**1.86E+03**	**1.86E+03**
Tetracloroetilene	**1.84E+02**	**3.72E+02**	**3.72E+02**
1,2, Dicloropropano	**3.32E+02**	**3.54E+02**	**3.54E+02**
Cloruro di vinile	**5.91E+01**	**1.41E+02**	**1.41E+02**
Monoclorobenzene	**7.53E+03**	**8.89E+03**	**8.89E+03**
1,2 (o) Diclorobenzene	**3.14E+04**	**4.71E+03**	**4.71E+03**
1,4 (p) Diclorobenzene	**1.29E+03**	**6.45E+02**	**6.45E+02**
Esaclorobenzene	**5.13E+01**	**5.13E+01**	**5.13E+01**
Anilina	**1.16E+04**	**5.78E+03**	**5.78E+03**
p-toluidina	**1.41E+03**	**1.41E+03**	**1.41E+03**
Benzo(a)Pirene	**4.08E+02**	**4.08E+02**	**4.08E+02**
Benzo(g,h,i)Perilene	**1.18E+04**	**1.18E+04**	**1.18E+04**
Idrocarburi totali	**3.28E+03**	**4.88E+03**	**4.88E+03**

8.3 Confronto tra CSR e soglie olfattive

Come richiesto nel verbale della Conferenza dei Servizi del 19 Novembre 2010, nell'**Allegato 14a** è riportato il confronto tra le concentrazioni (mg/m^3) in ambiente *indoor* e *outdoor* correlate alla presenza di contaminanti nelle matrici di interesse in concentrazioni pari alle CSR e le rispettive soglie olfattive desunte da letteratura (APAT, Manuali e linee guida 19/2003: "*Metodi di misura delle emissioni olfattive – quadro normativo e campagne di misura*", vedi **Allegato 14b**).

Tale confronto evidenzia valori al punto di esposizione sempre inferiori alle rispettive soglie olfattive.

8.4 Obiettivi di bonifica dell'area

Nelle seguenti tabelle sono riportate, nuovamente, le CSR relative ai tre settori distinti nel sito, sia riferite al suolo insaturo che alla falda. I valori di CSR restituiti dall'Analisi di Rischio rappresentano, pertanto, i nuovi *target* di bonifica dell'area in esame.

Si ricorda che le CSR restituite dal presente studio di Analisi di Rischio sono vincolate alle soluzioni edilizie già descritte in dettaglio nei paragrafi precedenti.

Tabella 8.9: CSR Settore Nord (uso residenziale con box auto alla base degli edifici)

Inquinanti	CSR - suolo insaturo mg/kg	CSR - falda superficiale µg/l
Mercurio	8.01E-01	-
Benzene	2.42E-01	3.53E+02
Etilbenzene	3.62E+00	2.23E+03
Toluene	5.16E+00	8.98E+03
Xilene	1.06E+01	1.37E+04
Triclorometano	7.66E-02	1.63E+02
Tricloroetilene	1.05E+00	1.04E+03
Tetracloroetilene	3.05E-01	1.84E+02
1,1 - Dicloroetano	1.96E+00	-
1,2 - Dicloroetilene	4.50E-01	-
1,2, Dicloropropano	-	3.32E+02
Cloruro di vinile	-	5.91E+01
Monoclorobenzene	6.00E+00	7.53E+03
1,2 (o) Diclorobenzene	-	3.14E+04

Inquinanti	CSR - suolo insaturo mg/kg	CSR - falda superficiale µg/l
1,4 (p) Diclorobenzene	1.32E+00	1.29E+03
Esaclorobenzene	-	5.13E+01
Anilina	5.32E-01	1.16E+04
DDT	1.11E+01	-
PCB	2.92E-01	-
Benzo(a)pirene	4.26E+00	4.08E+02
Indeno(1,2,3,c,d)Pirene	1.32E+02	-
Benzo(g,h,i)Perilene	1.88E+02	1.18E+04
4 Metiltiobenzaldeide	7.98E-01	-
p-toluidina	-	1.41E+03
Idrocarburi leggeri	1.32E+01	-
Idrocarburi pesanti	3.32E+02	-
Idrocarburi totali	-	3.28E+03

- : inquinante non presente nella matrice di interesse

Tabella 8.10: CSR Settore Sud-Est (uso servizi/commerciale)

Inquinanti	CSR - suolo insaturo mg/kg	CSR - falda superficiale µg/l
Mercurio	8.01E-01	-
Benzene	1.00E+00	5.19E+02
Etilbenzene	3.78E+00	1.89E+03
Toluene	5.91E+00	5.81E+03
Xilene	1.03E+01	9.51E+03
Triclorometano	3.62E-01	2.14E+02
Tricloroetilene	1.07E+00	1.86E+03
Tetracloroetilene	4.16E-01	3.72E+02
1,1 - Dicloroetano	1.11E+00	-
1,2 - Dicloroetilene	4.65E-01	-
1,2, Dicloropropano	-	3.54E+02
Cloruro di vinile	-	1.41E+02
Monoclorobenzene	5.32E+00	8.89E+03
1,2 (o) Diclorobenzene	-	4.71E+03
1,4 (p) Diclorobenzene	1.32E+00	6.45E+02
Esaclorobenzene	-	5.13E+01

Inquinanti	CSR - suolo insaturo mg/kg	CSR - falda superficiale µg/l
Anilina	5.32E-01	5.78E+03
DDT	1.11E+01	-
PCB	2.92E-01	-
Benzo(a)pirene	4.26E+00	4.08E+02
Indeno(1,2,3,c,d)Pirene	1.32E+02	-
Benzo(g,h,i)Perilene	1.88E+02	1.18E+04
4 Metiltiobenzaldeide	7.98E-01	-
p-toluidina	-	1.41E+03
Idrocarburi leggeri	1.32E+01	-
Idrocarburi pesanti	3.32E+02	-
Idrocarburi totali	-	4.88E+03

- : inquinante non presente nella matrice di interesse

Tabella 8.11: CSR Settore Sud-Ovest (uso ricreativo e commerciale)

Inquinanti	CSR - suolo insaturo mg/kg	CSR - falda superficiale µg/l
Mercurio	8.01E-01	-
Benzene	1.00E+00	5.19E+02
Etilbenzene	3.78E+00	1.89E+03
Toluene	5.91E+00	5.81E+03
Xilene	1.03E+01	9.51E+03
Tricloromet ano	3.62E-01	2.14E+02
Tricloroetilene	1.07E+00	1.86E+03
Tetracloroetilene	4.16E-01	3.72E+02
1,1 - Dicloroetano	1.11E+00	-
1,2 - Dicloroetilene	4.65E-01	-
1,2, Dicloropropano	-	3.54E+02
Cloruro di vinile	-	1.41E+02
Monoclorobenzene	5.32E+00	8.89E+03
1,2 (o) Diclorobenzene	-	4.71E+03
1,4 (p) Diclorobenzene	1.32E+00	6.45E+02
Esaclorobenzene	-	5.13E+01
Anilina	5.32E-01	5.78E+03
DDT	1.11E+01	-

Inquinanti	CSR - suolo insaturo mg/kg	CSR - falda superficiale µg/l
PCB	2.92E-01	-
Benzo(a)pirene	4.26E+00	4.08E+02
Indeno(1,2,3,c,d)Pirene	1.32E+02	-
Benzo(g,h,i)Perilene	1.88E+02	1.18E+04
4 Metiltiobenzaldeide	7.98E-01	-
p-toluidina	-	1.41E+03
Idrocarburi leggeri	1.32E+01	-
Idrocarburi pesanti	3.32E+02	-
Idrocarburi totali	-	4.88E+03

- : inquinante non presente nella matrice di interesse

8.5 Confronto delle CSR con lo stato di contaminazione presente nel sito

Come rappresentato in **Tavola 14**, nel suolo insaturo i superamenti delle CSR riguardano i sondaggi S8, S10, S13, S16, S17, S19, S23, S24, S27, S36, S37, S40. In particolare, si evidenziano i seguenti superamenti:

- Per il sondaggio S8, ubicato nel Settore Nord, si rilevano superamenti delle rispettive CSR per il triclorometano (rilevato 0,26 mg/kg contro una CSR pari a 0,0766 mg/kg), i PCB (rilevato 0,60 mg/kg contro una CSR pari a 0,292 mg/kg) e il 4 metiltiobenzaldeide (rilevato 3,335 mg/kg contro una CSR pari a 0,798 mg/kg).

- Per il sondaggio S10, ubicato nel Settore Nord, si rilevano superamenti delle rispettive CSR solo per il monoclorobenzene (rilevato 19,5 mg/kg contro una CSR pari a 6,0 mg/kg).

- Per il sondaggio S13, ubicato nel Settore Sud-Ovest, si rilevano superamenti delle rispettive CSR per gli idrocarburi leggeri (rilevati 350 mg/kg (S13/1 tra 0,5 – 0,9 m) e 210 mg/kg (S13/2 tra 0,9-1,6 m) contro una CSR pari a 13,2mg/kg) e per gli idrocarburi pesanti (rilevato 4100 mg/kg (S13/1 tra 0,5 – 0,9 m) e 2200 mg/kg (S13/2 tra 0,9-1,6 m) contro una CSR pari a 332 mg/kg).

- Per il sondaggio S16, ubicato nel Settore Nord, si rilevano superamenti delle rispettive CSR per gli idrocarburi leggeri (rilevati 30 mg/kg contro una CSR pari a 13,2mg/kg) e per gli idrocarburi pesanti (rilevato 2800 mg/kg (S16/1) e 1200 (S16bis/1) contro una CSR pari a 332 mg/kg).

- Per il sondaggio S17, ubicato nel Settore Sud-Ovest, si rilevano superamenti delle rispettive CSR solo per gli idrocarburi pesanti (rilevato 750 mg/kg contro una CSR pari a 332 mg/kg).

- Per il sondaggio S19, ubicato nel Settore Nord, si rilevano superamenti delle rispettive CSR per il mercurio (rilevato 13,30 mg/kg (S19bis/1) contro una CSR pari a 0,801 mg/kg) e per l'anilina (rilevato 1,46 mg/kg (S19bis/1) contro una CSR pari a 0,532 mg/kg).

- Per il sondaggio S23, ubicato nel Settore Sud-Est, si rilevano superamenti delle rispettive CSR per il mercurio (rilevato 10 mg/kg contro una CSR pari a 0,801 mg/kg), il benzene (rilevato 22 mg/kg contro una CSR pari a 1,0 mg/kg), l'etilbenzene (rilevato 5 mg/kg contro una CSR pari a 3,78 mg/kg) il monoclorobenzene (rilevato 393 mg/kg contro una CSR pari a 5,32 mg/kg) l'anilina (rilevato 1,8 mg/kg contro una CSR pari a 0,532 mg/kg) gli idrocarburi leggeri (rilevato 260 mg/kg contro una CSR pari a 13,2 mg/kg) e gli idrocarburi pesanti (rilevato 2300 mg/kg contro una CSR pari a 332 mg/kg).

- Per il sondaggio S24, ubicato nel Settore Sud-Ovest, si rilevano superamenti delle rispettive CSR solo per il mercurio (rilevato 26,6 mg/kg (S24bis/1) contro una CSR pari a 0,801 mg/kg).

- Per il sondaggio S27, ubicato nel Settore Sud-Est, si rilevano superamenti delle rispettive CSR per il mercurio (rilevato 6,6 mg/kg contro una CSR pari a 0,801 mg/kg) e il triclorometano (rilevato 1,5 mg/kg contro una CSR pari a 0,362 mg/kg).
- Per il sondaggio S36, ubicato nel Settore Nord, si rilevano superamenti delle rispettive CSR per il benzene (rilevato 0,62 mg/kg contro una CSR pari a 0,242 mg/kg) il monoclorobenzene (rilevato 275 mg/kg contro una CSR pari a 6,0 mg/kg) e per l'1-4 diclorobenzene (rilevato 2,2 mg/kg contro una CSR pari a 1,32 mg/kg).
- Per il sondaggio S37, ubicato nel Settore Nord, si rilevano superamenti delle rispettive CSR solo per il monoclorobenzene (rilevato 7,8 mg/kg contro una CSR pari a 6,0 mg/kg).
- Per il sondaggio S40, ubicato nel Settore Nord, si rilevano superamenti delle rispettive CSR solo per il monoclorobenzene (rilevato 10,5 mg/kg contro una CSR pari a 6,0 mg/kg).

L'elenco sopra riportato si riferisce esclusivamente al confronto tra i valori riscontrati durante le campagne di indagine (sia di caratterizzazione che integrative) e le CSR calcolate con l'analisi di rischio. La definizione di dettaglio delle aree e degli spessori di terreno da sottoporre a bonifica saranno affrontati nel Progetto Operativo di Bonifica ai sensi del D.Lgs. 152/06.

Si ritiene importante ricordare che, sulla base del modello concettuale considerato nel presente studio di analisi di rischio, le CSR sono riferite esclusivamente ai composti volatili in quanto unica

via di esposizione potenzialmente attiva. In quest'ottica l'analisi di rischio ha considerato le concentrazioni rilevate per il mercurio interamente come mercurio elementare (volatile), sebbene, come noto, nel terreno tale parametro si trovi principalmente sottoforma di composti inorganici e/o organici la maggior parte dei quali non sono volatili o hanno una volatilità del tutto trascurabile. Si ritiene di conseguenza che la CSR individuata per il mercurio debba essere riferita in termini di obiettivi di bonifica unicamente ai composti volatili del mercurio e pertanto si ritiene opportuno prevedere in fase di bonifica una speciazione del mercurio con lo scopo di meglio definire gli effettivi superamenti delle CSR correlati al rischio calcolato per l'inalazione di vapori di mercurio.

Per quanto riguarda la falda superficiale, le campagne periodiche di monitoraggio hanno rilevato numerosi superamenti delle CSR, in particolare per i parametri benzene, toluene, triclorometano e monoclorobenzene, con maggiore frequenza nei piezometri locati in corrispondenza dei due focolai di contaminazione e in posizione di valle idrogeologica rispetto ai focolai stessi. Nella **Tavola 15** è rappresentata l'area interessata dai superamenti delle CSR nella falda superficiale con evidenziati i piezometri nei quali durante l'ultimo anno di monitoraggio disponibile è stato rilevato un superamento delle CSR per almeno un parametro.

9 Conclusioni

La principale finalità del presente studio è quella di definire gli obiettivi di bonifica in funzione di un progetto di riconversione urbanistica che prevede la distinzione di 3 settori con diverse destinazioni d'uso:

- Residenziale con presenza di box auto / cantine / locali tecnici alla base degli edifici.
- Servizi (assimilabile a Commerciale).
- Ricreativo / Commerciale.

Le concentrazioni - obiettivo (CSR, Concentrazione Soglia di Rischio) conseguite mediante l'Analisi di Rischio sono state calcolate simulando in ogni porzione del sito lo scenario di massima contaminazione, in termini di estensione della sorgente, tipologia e concentrazione degli inquinanti coinvolti. Per questo motivo la suddivisione in settori ipotizzata e di conseguenza le CSR ottenute non sono vincolate ad una specifica ubicazione all'interno del sito ma dipendono esclusivamente dalla destinazione d'uso considerata e dalle soluzioni edilizie aggiuntive identificate come misure di sicurezza specifiche. Tale assunzione ha il duplice scopo di considerare cautelativamente in ogni porzione del sito le massime ipotesi di rischio per i futuri utilizzatori e permettere una più agevole fase di progettazione edilizia per la completa rivalorizzazione dell'area.

Le principali assunzioni effettuate per la redazione della presente analisi del rischio sono state le seguenti:

- Per l'utilizzo *on site*, quali recettori sono stati considerati gli adulti e bambini (residenziale e ricreativo); solo per lo scenario ad uso unicamente a servizi/commerciale (Settore Sud Est) sono stati considerati quali utilizzatori i soli adulti (lavoratori).
- Per tutti gli scenari indagati è prevista la presenza di ambienti confinati, per i quali è possibile l'inalazione indoor; le CSR sono state calcolate in presenza di misure di sicurezza aggiuntive, quali uno spessore della soletta di base di almeno 50 cm, un sistema di ventilazione nei box ad uso residenziale che garantisca almeno un ricambio d'aria all'ora e l'innalzamento del piano campagna mediante posa di terreno idoneo alla destinazione d'uso (almeno 0,5 metri nelle aree pavimentate e 1 metro nelle aree non pavimentate).
- Per quanto attiene il rischio sanitario, è stata esclusa quale modalità di esposizione quella legata al contatto diretto (ingestione, contatto dermico, inalazione di polveri) con il suolo contaminato; tale assunzione deriva dal fatto che, come citato al punto precedente, l'attuale piano campagna (o quello finale, a seguito delle operazioni di bonifica) verrà ricoperto da uno

strato idoneo di suolo non contaminato / soletta di fondazione (di spessore pari ad almeno 1 metro nelle aree non pavimentate e ad almeno 50 centimetri nelle aree pavimentate), che renderà di fatto inattiva questa via di esposizione.

- Il rischio ambientale non è stato incluso nel presente studio, in quanto è stata esclusa la diffusione *off site* della contaminazione con le acque di falda, vista la presenza di una barriera idraulica a garanzia dei recettori esterni all'area in oggetto. Per lo stesso motivo, anche la lisciviazione in falda dal suolo insaturo è stata esclusa dalle vie di esposizione.

Sulla base delle procedure sopraccitate è stato possibile calcolare le CSR, suddivise per le matrici ambientali considerate (suolo insaturo e acque di falda) e per le tre destinazioni d'uso ipotizzate, che rappresentano le nuove concentrazioni obiettivo per la bonifica dell'area in esame.

Il confronto con i risultati restituiti dalle indagini di caratterizzazione ha rilevato la necessità di interventi di bonifica sia del suolo insaturo, limitati ad alcune aree da meglio definire in fase di progettazione degli interventi di bonifica, che delle acque di falda, in corrispondenza dei due focolai di contaminazione e a valle degli stessi.

Gli interventi di bonifica dovranno essere eseguiti secondo le modalità e i criteri tecnici previsti dal D.Lgs. 152/06.