



**Analisi di Rischio sito specifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 delle
Aree Residenziali, Sociali ed Agricole (RSA)
Comune di Napoli (NA)
SIN "Napoli Orientale"**

Gennaio 2018

rev 2

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
1.1 <i>Premessa.....</i>	3
2. DESCRIZIONE DELLE AREE RESIDENZIALI, SOCIALI ED AGRICOLE (RSA)4	
2.1 <i>Progetto RSA</i>	6
2.2 <i>Risultati della caratterizzazione</i>	6
2.3 <i>Indagini indirette</i>	7
2.4 <i>Indagini dirette</i>	7
2.4.1 <i>Risultati analisi chimiche.....</i>	9
2.5 <i>Ricostruzione geologica del sito.....</i>	10
2.6 <i>Ricostruzione idrogeologica del sito</i>	10
3. DEFINIZIONE ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA.....	11
3.1 <i>Rischio: definizione e accettabilità.....</i>	12
3.2 <i>Analisi di Rischio Sito Specifica RSA</i>	13
3.3 <i>Applicazione dell’ADR</i>	15
3.4 <i>Parametri di input</i>	15
3.5 <i>CASO 1 - Aree Residenziali.....</i>	18
3.5.1 <i>Modello concettuale del sito</i>	19
3.5.2 <i>Risultati.....</i>	21
3.5.2.1 <i>Suolo superficiale</i>	22
3.5.2.2 <i>Suolo Profondo</i>	27
3.5.2.3 <i>Acque sotterranee</i>	31
3.5.3 <i>Conclusioni Caso 1- Aree residenziali.....</i>	35
3.6 <i>CASO 2 - Aree Agricole.....</i>	36
3.6.1 <i>Modello concettuale del sito</i>	36
3.6.2 <i>Risultati.....</i>	39
3.6.2.1 <i>Suolo Superficiale.....</i>	39
3.6.2.2 <i>Suolo Profondo</i>	45
3.6.2.3 <i>Falda</i>	48
3.6.3 <i>Conclusioni Caso 2 – Aree agricole.....</i>	51
4. INDIVIDUAZIONE AREE CRITICHE	53
5. BIBLIOGRAFIA	60

ALLEGATI

Allegato 1	Convenzione
Allegato 2	Perimetrazione del SIN “Napoli Orientale”
Allegato 3	Definizione Ambiti
Allegato 4	Piano d’Indagine
Allegato 5	Rapporti di Prova
Allegato 6	Tabelle risultati analitici
Allegato 7	Validazioni e rapporti di prova ARPAC
Allegato 8	Isofreatiche
Allegato 9	Slug test e rilievi di falda
Allegato 10	Dati meteo climatici
Allegato 11	Stratigrafie
Allegato 12	Analisi granulometriche
Allegato 13	LCL Falda
Allegato 14	Approfondimento indagini_Risultati

Gruppo di lavoro

Arch. Maria Daro
Ing. Annalisa Giordano
Ing. Valentina Sammartino Calabrese
Dott. Geol. Gianluca Ragone

Il Dirigente U.O.CAAR
Referente gruppo di lavoro
Ing. Rita Iorio

Il Dirigente U.O.C. S.I.C.B.
Dott. Salvatore Di Rosa

1. INTRODUZIONE

1.1 Premessa

Il presente elaborato di Analisi di Rischio Sito Specifica è relativo alle Aree Residenziali, Sociali ed Agricole ricadenti nel Sito d’Interesse Nazionale Napoli Orientale.

Esso è stato redatto da ARPAC in relazione alla convenzione di servizi stipulata con la Regione Campania, prot. 2015. 0765794 del 10/11/2015, per l’esecuzione del progetto di servizi *“Elaborazione Analisi di Rischio sito-specifica” di cui all’art. 242 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i., per i siti individuati dalle delibere di Giunta Regionale della Campania n. 57/2015 e n. 197/2015”* (Allegato 1).

Tale documento è stato revisionato alla luce delle considerazioni emerse in sede di riunione tecnica con ISPRA e il MATTM il giorno 15/02/2017 avente oggetto: *“Analisi di Rischio sito specifica di cui all’art. 242 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i., per i siti individuati dalle delibere di Giunta Regionale della Campania n. 57/2015 e n. 197/2015”*.

La presente analisi di rischio è stata condotta secondo quanto previsto dall’Allegato 1, Parte IV, Titolo V del D.lgs. 152/06 e s.m.i., contenente i *“Criteri generali per l’analisi di rischio sanitario e ambientale sito specifica”* ed è finalizzata alla valutazione del rischio sanitario a cui sono esposti i fruitori delle aree residenziali, sociali ed agricole ricadenti nel SIN di Napoli Orientale.

Il Titolo V del sopracitato Decreto disciplina gli interventi di bonifica e ripristino ambientale dei siti contaminati e stabilisce le procedure, i criteri e le modalità per lo svolgimento delle operazioni necessarie per l’eliminazione delle sorgenti dell’inquinamento e comunque per la riduzione delle concentrazioni di sostanze inquinanti.

2. DESCRIZIONE DELLE AREE RESIDENZIALI, SOCIALI ED AGRICOLE (RSA)

Le Aree Residenziali, Sociali ed Agricole (RSA), rappresentate in Figura 2.1, ricadono all'interno del perimetro del Sito di Interesse Nazionale di Napoli Orientale, individuato con legge 426/98 e successivamente perimetrato con Ordinanza del Sindaco di Napoli - Commissario Delegato del 29/12/1999, d'intesa con il Ministero dell'Ambiente (Allegato 2).

In ottemperanza all'art.10 dell'Ordinanza 22 dicembre 2000, n. 3100 (emergenza rifiuti in Campania) "Ulteriori disposizioni per fronteggiare l'emergenza nel settore dello smaltimento dei rifiuti nella Regione Campania, nonché in materia di bonifica dei suoli, delle falde e dei sedimenti, di tutela delle acque superficiali, di dissesto idrogeologico e del sottosuolo, con particolare riferimento al territorio del Comune di Napoli", ARPAC ha predisposto, su incarico del Commissario di Governo, il "Piano di Caratterizzazione di Napoli Orientale (aree pubbliche e di competenza pubblica)", che è stato approvato nel corso della Conferenza dei Servizi tenutasi presso il Ministero dell'Ambiente il 20 giugno 2003.

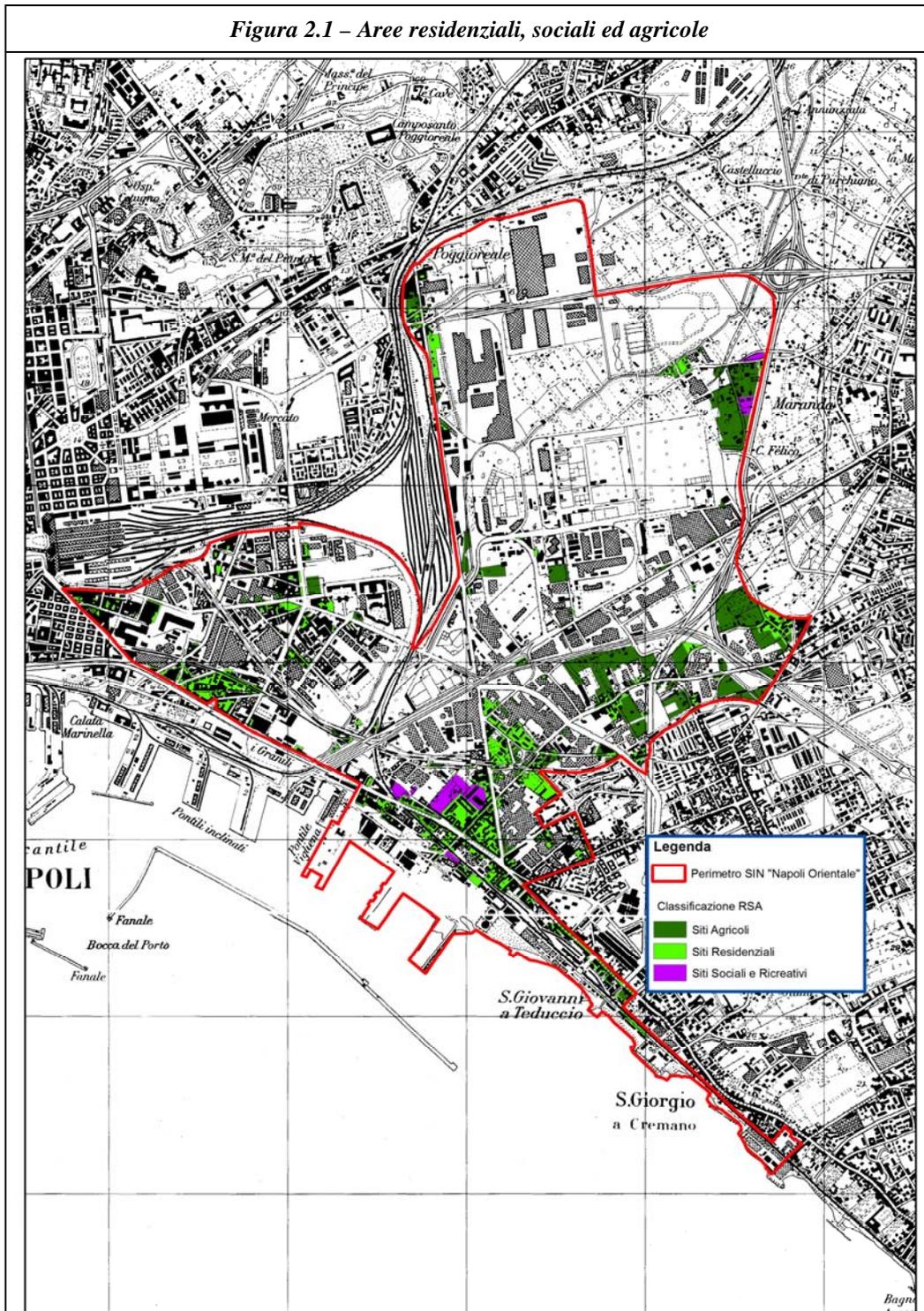
In tale Piano l'intera area di "Napoli Orientale" è stata classificata nelle seguenti tipologie di uso:

- aree residenziali e sociali: aree su cui sorgono i palazzi destinati ad abitazione e relative pertinenze (garage, parcheggi, giardini, vani destinati a commercio e/o piccole attività artigianali poste al piano terra dei palazzi), aree pubbliche destinate a verde, scuole, chiese, ospedali;
- aree agricole: aree destinate a coltivazioni di vario genere e/o attualmente incolte con un uso pregresso di tipo agricolo;
- aree pubbliche: aree di proprietà di enti pubblici quali Comune, Provincia, Regione, Demanio, Autorità Portuale. In quest'ambito ricadono anche aree industriali dismesse, acquisite dai soggetti pubblici che intendono utilizzarle per attività diverse.

Con ordinanza n. 233/04 il Commissariato di Governo per l'Emergenza Bonifica e Tutela Acque della Regione Campania, ha affidato all'ARPAC, tra l'altro, l'intervento per la caratterizzazione delle aree pubbliche del SIN di "Napoli Orientale".

Il Commissario di Governo ex OPCM, con nota prot. 7202 del 15/09/2005, ha trasmesso al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio il Piano di Caratterizzazione delle Aree Residenziali, Sociali ed Agricole (RSA), redatto da ARPAC – ex Centro Regionale Siti Contaminati (CRSC) ai sensi del Decreto Ministeriale n. 471 del 25 ottobre 1999 (D.M. 471/99). Successivamente l'ARPAC – ex CRSC, anche in riscontro all'incarico avuto dal Commissariato di Governo di cui alla Nota Prot.3825/CD del 16/02/04, ha elaborato una integrazione al Piano di caratterizzazione RSA, in risposta alle prescrizioni formulate nel corso della Conferenza di Servizi decisoria del 11 ottobre 2005, tenutasi a Roma presso la sede Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio.

Figura 2.1 – Aree residenziali, sociali ed agricole



2.1 *Progetto RSA*

Le Aree Residenziali, Sociali ed Agricole (RSA) si inseriscono nell’ambito del Sito d’Interesse Nazionale (SIN) "Napoli Orientale" avente una superficie di circa 830 ha e caratterizzato dalla presenza di oltre 500 aziende piccole, medie e grandi, pubbliche e private, aree residenziali (circostrizioni di Ponticelli, Barra, San Giovanni a Teduccio e Poggioreale - Zona Industriale), strutture ad usi sociali, appezzamenti agricoli, aree industriali dismesse e attrezzature portuali.

Per la redazione del progetto RSA, l’intero SIN è stato suddiviso in 8 ambiti territoriali (Allegato 3) che ricalcano, laddove possibile, quelli individuati dalla variante al PRG del Comune di Napoli; in particolare gli otto ambiti territoriali oggetto di indagine sono stati i seguenti:

1. Serre Pazzigno
2. Cirio
3. Corradini
4. Zona Franca
5. Fiat-Italcost
6. Tabacchi-Gianturco
7. MecFond
8. Ansaldo-Montedison

Nel Progetto, per ciascuno degli otto ambiti, è stato eseguito uno studio descrittivo delle caratteristiche fisiche e geografiche, delle attività industriali pregresse, della destinazione d'uso prevista dagli strumenti urbanistici che disciplinano l’area di Napoli Orientale ed infine delle tipologie d’uso, in termini di percentuale di aree private, pubbliche, agricole, residenziali e sociali, strade e ferrovie.

Successivamente per ogni singolo ambito è stato approntato un piano delle indagini mirato all’investigazione dei suoli e delle acque di falda nelle sole aree residenziali, sociali ed agricole.

2.2 *Risultati della caratterizzazione*

Il Piano della caratterizzazione delle RSA ha comportato l’esecuzione di:

- Indagini di tipo indiretto dei terreni indagati (indagini geofisiche) finalizzate alla verifica di eventuali sottoservizi presenti nell’area in esame;
- Bonifica da ordigni bellici: attività propedeutiche alle attività di perforazione finalizzate alla verifica nel suolo e sottosuolo di ordigni bellici;
- Indagini di tipo diretto finalizzate all’investigazione delle matrici ambientali (suolo, sottosuolo ed acque sotterranee), mediante escavazione, carotaggio, prelievo di campioni, ecc.

In Allegato 4 sono rappresentati i sondaggi eseguiti in base al Piano di Indagine.

2.3 *Indagini indirette*

A valle dello svolgimento delle attività finalizzate alla verifica dei punti di indagine indicati nel piano di caratterizzazione, in termini di accessibilità e di possibili interferenze con servizi e sottoservizi, sono state eseguite delle successive indagini di campo preliminari, quali:

- materializzazione in situ dei punti oggetto delle successive indagini;
- indagine geofisiche;
- prescavi;
- attività di bonifica da ordigni bellici.

L'indagine geofisica ha in generale evidenziato la presenza, nell'area indagata, di una fitta rete di sottoservizi, segnalando, per ciascun punto di indagine, la posizione più cautelativa ai fini dell'esecuzione delle successive attività di indagine.

Nell'esecuzione dei lavori di bonifica da Ordigni bellici nell'area di indagine non sono stati rinvenuti ordigni esplosivi residuati bellici.

Sulla base dei risultati delle indagini preliminari sono state materializzate le ubicazioni definitive di tutte le perforazioni previste dal Piano di Caratterizzazione.

2.4 *Indagini dirette*

L'indagine ambientale condotta ha previsto:

- realizzazione di n.280 sondaggi spinti sino alla massima profondità di 10 metri da p.c. di cui n. 50 attrezzati a piezometro;
- prelievo di tre campioni di suolo di cui 83 nel suolo superficiale e 757 nel suolo profondo (insaturo e saturo);
- prelievo di n. 1 campione d'acqua di falda per ogni sondaggio attrezzato a piezometro;
- n. 30 prelievi di campioni superficiali in aree non pavimentate (top soil 0-10 cm) per la ricerca dei parametri amianto, diossine e furani;
- analisi chimiche sui campioni di suolo ed acque.

Per le determinazioni analitiche effettuate sui campioni di suolo ed acque sotterranee si è fatto riferimento alla “short list integrata” elaborata da ISS e ARPAC per il Sito di Interesse Nazionale di Napoli Orientale e riportata nelle Tabelle 2.1 e 2.2.

Ai fini della individuazione delle CSC (Concentrazioni Soglia di Contaminazione) di cui al D.Lgs152/2006 si è fatto riferimento ai limiti relativi alla colonna A Tabella 1 Allegato 5 Parte IV per i Siti ad uso verde pubblico privato e residenziale.

Tabella 2.1 – Suolo: parametri ricercati	
Metalli	Antimonio, Arsenico, Berillio, Cadmio, Cobalto, Cromo totale, Cromo VI, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Selenio, Tallio, Stagno, Vanadio, Zinco;
BTEX	Benzene, Etilbenzene, Toluene, Xilene, Stirene e Sommatoria (da 20 a 23);
Policiclici Aromatici	Benzo(a)antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Benzo(g,h,i)perilene, Crisene, Dibenzo(a,e)pirene, Dibenzo(a,l)pirene, Dibenzo(a,i)pirene, Dibenzo(a,h)pirene, Dibenzo(a,h)antracene, Indeno(1,2,3, cd)pirene, Pirene e Sommatoria policiclici aromatici (da 25 a 34);
Alifatici Clorurati Cancerogeni	Clorometano, Diclorometano, Triclorometano, Cloruro di Vinile, 1,2-Dicloroetano, 1,1-Dicloroetilene, 1,2-Dicloropropano, 1,1,2-Tricloroetano, Tricloroetilene, 1,2,3-Tricloropropano, 1,1,2,2-Tetracloroetano, Tetracloroetilene;
Alifatici Clorurati non Cancerogeni	1,1-Dicloroetano, 1,2-Dicloroetilene, 1,1,1-Tricloroetano
Alifatici Alogenati Cancerogeni	Tribromometano, (bromoformio), 1,2-Dibromoetano, Dibromoclorometano, Bromodiclorometano
Clorobenzeni	Monoclorobenzene, Diclorobenzeni non cancerogeni (1,2-diclorobenzene), Diclorobenzeni cancerogeni (1,4-diclorobenzene), 1,2,4-Triclorobenzene, 1,2,4,5-Tetraclorobenzene, Pentaclorobenzene, Esaclorobenzene;
Fenoli non Clorurati	Metilfenolo (o-, m-, p-), Fenolo;
Fenoli Clorurati	2-clorofenolo, 2,4-diclorofenolo, 2,4,6-triclorofenolo, Pentaclorofenolo
Ammine Aromatiche	Anilina, o-Anisidina, M,p-Anisidina, Difenilamina, p-Toluidina, Sommatoria Ammine Aromatiche
Diossine e Furani	Sommatoria PCDD, PCDF
PCB	Policlorobifenili
Idrocarburi	Idrocarburi leggeri C ≤ 12, Idrocarburi pesanti C > 12
Altre Sostanze	Amianto totale, Piombo tetraetile, MTBE
Tabella 2.2 – Acque sotterranee: parametri ricercati	
Metalli	Alluminio, Antimonio, Argento, Arsenico, Berillio, Cadmio, Cobalto, Cromo Totale, Cromo VI, Ferro, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Selenio, Manganese, Tallio, Zinco, Vanadio, Fluoruri, Nitriti, Solfati, Cloruri, Nitrati ed Ammoniaca
Composti Organici Aromatici	Benzene, Etilbenzene, Toluene, Para-Xilene, Stirene;
Policiclici Aromatici	Benzo(a)antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Benzo(g,h,i)perilene, Crisene, Dibenzo(a,i)pirene, Dibenzo(a,h)antracene, Indeno(1,2,3, cd)pirene, Pirene, Sommatoria (31, 32, 33, 36);
Alifatici Clorurati Cancerogeni	Clorometano, Cloruro di Vinile, 1,2-Dicloroetano, 1,1-Dicloroetilene, 1,2-Dicloropropano, 1,1,2-Tricloroetano, Tricloroetilene, 1,2,3-Tricloropropano, 1,1,2,2-Tetracloroetano, Tetracloroetilene (PCE), Esaclorobuta-diene, Sommatoria
Alifatici Clorurati non Cancerogeni	1,1-Dicloroetano, 1,2-Dicloroetilene
Alifatici Alogenati Cancerogeni	Tribromometano, 1,2-Dibromoetano, Dibromoclorometano, Bromodiclorometano;
Clorobenzeni	Monoclorobenzene, Diclorobenzeni non cancerogeni (1,2-diclorobenzene), Diclorobenzeni cancerogeni (1,4-diclorobenzene), 1,2,4-Triclorobenzene, 1,2,4,5-Tetraclorobenzene, Pentaclorobenzene, Esaclorobenzene;
Fenoli e Clorofenoli	2-clorofenolo, 2,4-diclorofenolo, 2,4,6-triclorofenolo, Pentaclorofenolo;
Fitofarmaci	Alaclor, Aldrin, Atrazina, Clordano
Ammine Aromatiche	Anilina, o-Anisidina, M,p-Anisidina, Difenilamina, p-Toluidina, Sommatoria Ammine Aromatiche
PCB	
Idrocarburi	Idrocarburi totali come n-esano
Altre Sostanze	Piombo tetraetile, MTBE

2.4.1 Risultati analisi chimiche

Il Rapporto Tecnico Conclusivo delle Indagini di Caratterizzazione Ambientale, redatto dall’A.T.I. costituita da Tecnimont S.p.A.– So.ge.sa S.r.l. – Natura S.r.l.– Cada S.n.c. , è stato approvato in sede di Conferenza di Servizi decisoria del 26/02/09.

I risultati delle analisi chimiche eseguite sui campioni di suolo e di sottosuolo insaturo e saturo hanno evidenziato la presenza di valori di concentrazione superiori rispetto ai limiti ammissibili della Tabella 1, colonna A (Allegato 5, Titolo V, Parte IV del D. Lgs.152/06) per una destinazione d’uso residenziale.

I risultati delle analisi chimiche eseguite sui campioni di acque di falda, hanno evidenziato la presenza di valori di concentrazione superiori rispetto ai limiti ammissibili riportati in Tabella 2 (Allegato 5, Titolo V, Parte IV del D. Lgs.152/06).

In Allegato 5 vengono riportati i rapporti di prova delle analisi effettuate dalla ditta esecutrice della caratterizzazione; in Allegato 6 vengono riportate le Tabelle riassuntive delle analisi chimiche, infine, in Allegato 7 viene riportato il documento di validazione da parte di ARPAC ed i rapporti di prova delle analisi eseguite.

Dai risultati emersi dalle analisi chimiche eseguite in corrispondenza dei campioni di suolo si evidenzia per il suolo superficiale una contaminazione costituita principalmente da:

- Metalli pesanti quali Selenio, Stagno, Vanadio, Tallio e Piombo;
- IPA;
- Idrocarburi C>12.

Per il suolo profondo invece si evidenzia una contaminazione costituita principalmente da:

- Metalli quali Selenio, Vanadio, Berillio, Stagno, Cadmio, Tallio e Piombo;
- IPA : Benzo(a)pirene, Benzo(g,h,i)perilene e Indenopirene;
- Piombo tetraetile;
- Idrocarburi C<12 e C>12.

Dai risultati emersi dalle analisi chimiche delle acque sotterranee si evidenzia una contaminazione diffusa da:

- Composti Inorganici: Manganese, Ferro, Arsenico, Cromo totale, Nichel e Selenio;
- Solventi organoalogenati;
- Idrocarburi totali.

2.5 Ricostruzione geologica del sito

Le 280 perforazioni ambientali eseguite nell’area d’indagine, spinte ad una profondità di 10 m, caratterizzano l’area a livello litologico con una variabilità verticale ed areale, dovuta all’intercalazione di livelli torbosi, lacustri e vulcanici.

Schematicamente, a partire dallo strato superficiale si rilevano:

- Terreni di riporto: estremamente variabili per granulometria e tipologia, costituiti da litici eterogenei ed eterometrici ed abbondante pezzame tufaceo in matrice sabbiosa di natura vulcanica. Sono dovuti prevalentemente alle opere di colma delle zone paludose ed al generale innalzamento della superficie topografica. Spessori variabili tra 1 e 2,5 m.
- Depositi sciolti piroclastici-alluvionali: piroclastiti di provenienza flegrea e vesuviana rimaneggiate in ambiente fluviale, palustre e costiero. Tali depositi sono frequentemente intervallati da livelli di torba e da paleosuoli che confermano la storia geologica dell’area.

Le analisi granulometriche (Allegato 12) hanno evidenziato una granulometria da media a fine: da sabbie fini a limi sabbiosi con limi argillosi; le variazioni granulometriche sono frequenti sia in senso orizzontale che verticale.

2.6 Ricostruzione idrogeologica del sito

I depositi sciolti piroclastico-alluvionali costituiscono l’acquifero principale dell’area.

La carta isopiezometrica riportata in Allegato 8 mostra che il deflusso delle acque sotterranee è prevalentemente orientato NE - SO.

Durante la fase di campionamento delle acque sotterranee, avvenuta a valle delle perforazioni, sono state misurate le caratteristiche chimico fisiche delle acque (Allegato 9).

La conducibilità ha una variazione da un massimo di 2091 a 536 $\mu\text{S}/\text{cm}$; la resistività varia tra i 2788 e 478 $\Omega*\text{cm}$; i TDS oscillano tra i 1,495 e i 0,273 g/l; la salinità varia tra 1,18 e 0,20; l’ossigeno disciolto in percentuale ha un range che varia tra 71,1% e 3,1%; l’ossigeno disciolto ha una variazione tra un massimo di 6,64 e 0,28 mg/l; il pH oscilla tra valori compresi tra 8,51 e 6,60; il potenziale redox varia tra 75,3 e 321 mV.

3. DEFINIZIONE ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA

L’analisi di rischio rappresenta una procedura avanzata per valutare il grado di contaminazione di un sito e dei rischi per la salute umana e per l’ambiente circostante connessi con l’inquinamento rilevato. Essa costituisce lo strumento più indicato per supportare le strategie di gestione della contaminazione e per quantificare i pericoli legati alla presenza di sostanze presenti in concentrazioni superiori a quelle previste dalla normativa vigente.

La procedura di analisi di rischio codificata dall’ASTM e ripresa dal D.lgs. 152/06 - Parte IV – Titolo V e s.m.i., prevede un approccio graduale di approfondimento, denominato Risk Based Corrective Action (RBCA). Tale approccio è articolato in tre differenti livelli di approfondimento, che si differenziano fondamentalmente per conservatività, difficoltà di applicazione e rappresentatività sito specifica.

Il livello di dettaglio dell’analisi di rischio è legato allo scopo che ci si prefigge e alla complessità e criticità del sito:

- Risk Screening (livello 1)
- Procedura sito specifica (livello 2)
- Procedura approfondita (livello3)

I tre livelli possono così essere definiti:

- **primo livello (Tier 1)** corrisponde ad una valutazione di screening, in cui vengono determinati, sulla base di scenari, modelli ed assunzioni conservative generiche, i *Risk Base d Screening Levels* (RBSL). I valori RBSL sono valori di concentrazione per le diverse matrici ambientali che hanno valore generico e non sito specifico. Se le concentrazioni rappresentative della contaminazione nel sito superano i suddetti valori, i RBSL possono essere un riferimento per gli obiettivi di bonifica, oppure si può passare al livello 2 di analisi che prevede la caratterizzazione specifica del sito;
- **secondo livello (Tier 2)** consiste in una valutazione sito specifica in cui vengono calcolati i *Site Specific Target Level* (SSTL), che corrispondono ai valori di concentrazione che possono costituire gli obiettivi di bonifica per le matrici contaminate. Nel livello 2 sono utilizzati modelli di trasporto analitici, in cui i dati d’ingresso sono ricavati da indagini ambientali condotte in sito. Qualora alcuni dati di input non siano disponibili, si ricorre a valori riportati in letteratura o a dati validati da studi condotti in contesti ambientali analoghi. Se le concentrazioni rappresentative della contaminazione nel sito superano i SSTL, questi ultimi possono essere presi come riferimento nell’individuazione degli obiettivi di bonifica, oppure si può passare al livello 3 di analisi che prevede l’uso di modelli di simulazione complessi e un maggior numero di dati;
- **terzo livello (Tier 3)** rappresenta lo stadio più approfondito di analisi di rischio. Il terzo livello prevede l’uso di strumenti di calcolo più complessi, costituiti da modelli numerici e stocastici per la simulazione dei fenomeni di trasporto dei contaminanti. L’applicazione dell’analisi di rischio di terzo livello è possibile nel caso in cui si disponga di dati chimici, biologici e fisici specifici del sito,

necessari alla completa determinazione dei fenomeni di riduzione del carico di contaminante in atto nel sottosuolo. Nella procedura di analisi di rischio sanitario (AdR), connessa alla contaminazione di un sito, è importante determinare il ‘Modello Concettuale del Sito’ (MCS). Tale modello è il frutto di indagini ed analisi di caratterizzazione del sito e la sua definizione comprende essenzialmente la ricostruzione dei caratteri delle tre componenti principali che costituiscono l’AdR:

Sorgente ⇨ **Trasporto** ⇨ **Bersaglio**

pertanto devono essere definiti:

- **Le sorgenti di contaminazione:** queste si differenziano in sorgenti primarie, rappresentate dall’elemento che è causa di inquinamento, e sorgenti secondarie identificate invece con il comparto ambientale contaminato (suolo, acqua, aria). Le sorgenti secondarie possono suddividersi in:
 - zona insatura, a sua volta distinta in suolo superficiale (profondità fino a 1 m) e suolo profondo (profondità superiori a 1 m);
 - zona satura o acqua sotterranea.

In accordo agli standard di riferimento la procedura di analisi di rischio viene applicata esclusivamente alle sorgenti secondarie di contaminazione.

- **Le vie di migrazione/percorsi di esposizione:** vengono distinte in base alla sorgente di contaminazione. Per il suolo superficiale si considerano l’ingestione di suolo, il contatto dermico, l’inalazione di vapori e polveri e la lisciviazione verso la risorsa idrica sotterranea; nel caso di un suolo profondo vengono attivati i percorsi di volatilizzazione e di lisciviazione in falda; per la zona satura infine la volatilizzazione e la migrazione verso il punto di conformità, cioè il punto “teorico” o “reale” di valle idrogeologico, in corrispondenza del quale devono essere rispettati gli obiettivi di qualità delle acque sotterranee.
- **I bersagli della contaminazione:** vengono presi in considerazione solo recettori umani, distinti in base alla destinazione d’uso del suolo contaminato, ovvero per aree residenziali/verde pubblico i bersagli sono adulti e bambini mentre per aree industriali/commerciali sono solo adulti (lavoratori).

3.1 **Rischio: definizione e accettabilità**

Il rischio (R) derivante da un sito contaminato è dato dalla seguente espressione:

R = E x T dove:

E = esposizione, definisce la condizione in cui un composto chimico viene a contatto con il recettore ed è il termine che quantifica la probabilità di contatto degli inquinanti con i bersagli.

L’esposizione è pari al prodotto tra la concentrazione del contaminante al punto di esposizione e i fattori di esposizione (tasso di contatto, durata e frequenza di esposizione, peso corporeo, durata della vita etc.).

T = tossicità di un composto chimico, stimato mediante studi scientifici condotti da organismi internazionali, fornito sotto forma di valori di potenziali cancerogeni o delle dosi massime assimilabili, a seconda che si tratti di una sostanza cancerogena o non cancerogena.

Il rischio **R** viene confrontato con i criteri di accettabilità individuali e cumulativi del rischio sanitario, per decidere se esistono o meno condizioni in grado di causare effetti sanitari nocivi. Il calcolo del rischio si differenzia a seconda che l'inquinante sia cancerogeno oppure non cancerogeno.

Per quantificare il rischio per la salute umana dovuto all'esposizione alla contaminazione, e valutarne l'accettabilità o la non accettabilità, si devono calcolare i quozienti di pericolo HI (*Hazard Index*) per le sostanze non cancerogene e i valori di rischio incrementale R per le sostanze cancerogene:

$$HI = Dose\ Assunta / Reference\ Dose\ (RfD)$$

$$R = Dose\ Assunta \times Slope\ Factor\ (SF),$$

in cui la **dose assunta**, ovvero la dose media giornaliera assunta, viene espressa come mg/kg giorno; **la dose di riferimento (RfD)** è espressa in mg/kg giorno e rappresenta la dose massima ammissibile, cioè la dose o concentrazione di sostanza tossica per la quale, in letteratura, non vengono riportati effetti avversi per l'uomo esposto alla sostanza stessa; **lo Slope Factor (SF)** è espresso in $(mg/kg\ giorno)^{-1}$, esso rappresenta il potenziale cancerogeno e stima la probabilità incrementale di ammalarsi di cancro nel corso della vita, associata all'assunzione di una dose unitaria di una certa sostanza cancerogena per unità di peso corporeo. Per le sostanze cancerogene, a differenza di quelle semplicemente tossiche, si ritiene che non esista un valore di soglia al di sotto della quale non vi siano effetti. Ciò a significare che non esiste un livello di esposizione alla sostanza che non ponga una probabilità anche se minima di generare una risposta cancerogena, in pratica non esiste una dose senza rischi.

A livello nazionale, secondo quanto previsto nel Testo Unico in campo Ambientale (D.Lgs. 152/06 e s.m.i.), il rischio per la salute umana è accettabile se sussistono le seguenti condizioni:

- R per singola sostanza $\leq 10^{-6}$;
- R cumulato $\leq 10^{-5}$;
- HI per singola sostanza ≤ 1 (non c'è rischio, in caso contrario si possono avere effetti non cancerogeni ma patologici sulla popolazione più sensibile);
- HI cumulato ≤ 1 (non c'è rischio, in caso contrario si possono avere effetti non cancerogeni ma patologici sulla popolazione più sensibile).

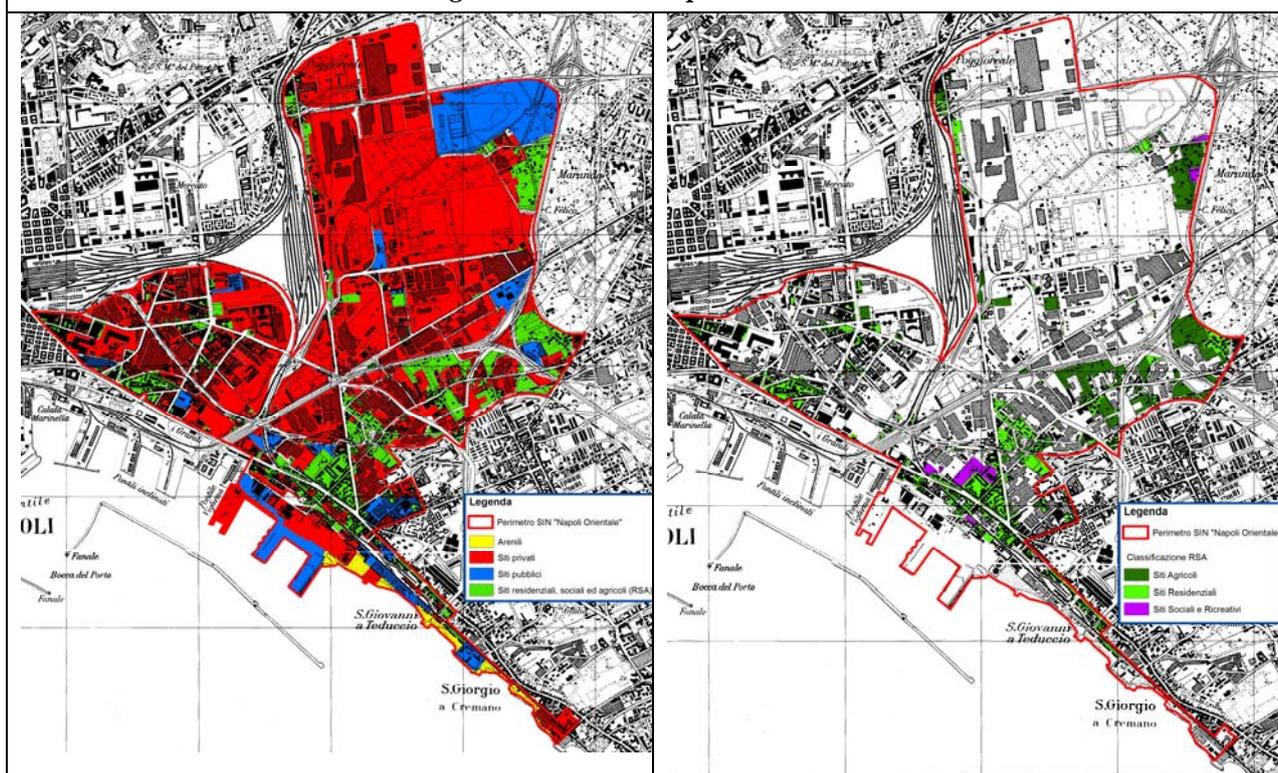
3.2 *Analisi di Rischio Sito Specifica RSA*

La presente Analisi di Rischio applicata alle “Aree Residenziali, Sociali ed Agricole” ricadenti nel SIN “Napoli Orientale” è stata sviluppata sulla base di alcune ipotesi che hanno tenuto conto di molteplici fattori quali:

1. notevole estensione del sito oggetto di studio (dimensione del SIN pari a circa 830 ha);

2. disomogenea distribuzione dei sondaggi ambientali (principalmente dislocati in prossimità di strade) che non permette di avere una ricostruzione sufficientemente rappresentativa dello stato di contaminazione dell’intera area e/o sorgente esaminata;
3. aree residenziali e ricreative frammiste ad aree industriali e ad aree agricole, con enorme difficoltà di delimitazione fisica di ciascuna tipologia di area;
4. elevata antropizzazione dell’area con prevalenza di zone edificate rispetto a quelle a verde. In particolare, se si considera l’intero SIN di Napoli Orientale la percentuale di aree a verde è pari circa al 5% mentre se si considerano le sole superfici delle RSA, la percentuale di aree a verde arriva al 45% con il 41% costituito da aree agricole ed un restante 4% da parchi pubblici, aree ricreative, e verde residenziale (Figura 3.1);
5. contaminazione diffusa nelle acque di falda dovuta alle attività pregresse ed attuali ed approvazione della prima fase attuativa del Progetto Definitivo di Bonifica della Falda del SIN di Napoli Orientale.

Figura 3.1 – SIN “Napoli Orientale”



Su tali considerazioni sono stati ricostruiti i diversi scenari esaminati e sono stati definiti il modello concettuale ed i parametri di input. In particolare, in base alla destinazione urbanistica, all’utilizzo dell’area, alla presenza di aree non pavimentate ed ai potenziali recettori esposti, sono stati individuati i seguenti “Casi”:

- Caso 1: Aree residenziali;

- Caso 2: Aree agricole.

Per quanto riguarda le aree ricreative, sono stati utilizzati i risultati ottenuti per le aree a verde residenziale, in quanto è stato verificato che gli obiettivi di bonifica associati sono pressoché uguali.

3.3 *Applicazione dell'ADR*

L'analisi di rischio applicata nel presente studio è di secondo livello (*Tier 2*), pertanto è stata effettuata una valutazione sito specifica in cui i dati d'ingresso sono stati ricavati da indagini ambientali condotte in sito e, in assenza di queste, da valori riportati in letteratura o da dati validati da studi condotti in contesti ambientali analoghi.

Il software utilizzato è Risk-net 2.0 sviluppato nell'ambito della rete RECONnet (Rete Nazionale sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati) su iniziativa del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica dell'Università di Roma “Tor Vergata”. Il software permette di calcolare il rischio legato alla presenza di contaminanti all'interno di un sito, applicando la procedura APAT-ISPRA di analisi di rischio sanitaria ("Criteri metodologici l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati"; APAT-ISPRA 2008) in accordo con quanto previsto dalla normativa italiana (D.Lgs. 152/06 e D.Lgs. 04/08). L'analisi di rischio è stata applicata in modalità sia diretta ai fini della valutazione del rischio sanitario che inversa ai fini del calcolo delle CSR. Si precisa che le CSR calcolate per le sostanze in falda sono indicative di quali possano essere le concentrazioni dei contaminanti presenti ai fini del rispetto del rischio sanitario, ma non indicano gli obiettivi di bonifica che restano le CSC e/o gli obiettivi di qualità del corpo idrico e/o i valori di fondo stabiliti dall'Autorità Competente.

La falda idrica non è stata considerata un potenziale bersaglio perché l'obiettivo del presente studio è quello di valutare il rischio per l'uomo ed inoltre, data la tipologia di area (area urbana ed agricola) e di caratterizzazione effettuata, si ritiene che non abbia senso individuare un rischio dal suolo per la falda idrica. Si sottolinea inoltre che trattandosi per gran parte di contaminazione “storica”, è ragionevole ipotizzare che le indagini dirette in falda forniscano un dato maggiormente valido rispetto ai modelli di trasporto per lisciviazione. Si evidenzia, infine, che nella Conferenza di Servizi decisoria del 31/05/2016 è stata approvata la prima fase attuativa del Progetto Definitivo di Bonifica della Falda del SIN di Napoli Orientale.

3.4 *Parametri di input*

I parametri sito specifici sono stati selezionati in base a quanto previsto dai “Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati” e dal “Documento di riferimento per la determinazione e la validazione dei parametri sito-specifici utilizzati nell'applicazione dell'analisi di rischio ai sensi del DLgs 152/06” elaborati da APAT-ARPA-ISS-ISPEL

I parametri meteorologici, trattandosi della medesima area geografica, sono uguali per tutte le analisi di rischio elaborate ed i dati e le modalità utilizzati per la determinazione degli stessi sono riportati nell'Allegato 10.

Negli allegati 5, 6 e 7 sono riportati rispettivamente i rapporti di prova delle analisi effettuate, le Tabelle riassuntive e il documento di validazione di ARPAC con i relativi rapporti di prova delle analisi eseguite.

I parametri chimico fisici e tossicologici utilizzati sono quelli riportati nella banca dati ISS-ISPEL, aggiornata a Marzo 2015.

I valori dei parametri di input comuni a tutti i casi esaminati sono riportati nella Tabella 3.1.

Tabella 3.1 – Parametri di input				
SIMBOLO	PARAMETRO	UNITA' DI MISURA	Valore di default	Valore inserito
W	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento	cm	4500	4500
L_{s(SS)}	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	cm	0	0
L_f	Profondità della base della sorgente superficiale rispetto al p.c.	cm	100	100
L	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	cm	100	100
L_f	Profondità della base della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	cm	300	600
L_{GW}	Profondità del piano di falda	cm	300	230
ρ_s	Densità del suolo	g/cm ³	1.7	1.7
f_{oc}	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo	g-C/g-suolo	0.01	0.01
pH	pH del suolo insaturo	adim.	6.8	6.8
U_{air}	Velocità del vento	cm/s	225	100
L_b	Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (RES.)	cm	200	200
L_{crack}	Spessore delle fondazioni (muri)	cm	15	15
Z_{crack}	Profondità delle fondazioni	cm	15	15

Relativamente alla scelta dei valori dei parametri di input si precisa che:

- per la definizione delle dimensioni delle sorgenti, data la difficoltà e la poca significatività nella determinazione del perimetro del “sito”, trattandosi di un intero quartiere urbano, è stata considerata un’area di default (45 x 45 m) alla quale sono stati associati i valori massimi delle concentrazioni dei contaminanti rilevati in tutta l’area investigata.

- I parametri sito-specifici relativi alle caratteristiche del terreno saturo e insaturo e dell’acquifero sono stati determinati secondo il principio di massima cautela:
 - I. per le aree edificate, quale tessitura rappresentativa dei suoli superficiali e profondi, è stata selezionata una “sand”, in quanto è stato verificato che il primo strato di terreno (quasi sempre superiore ad 1 metro di spessore) è costituito da terreno di riporto;
 - II. in corrispondenza delle aree agricole, ai suoli superficiali e profondi è stata associata una litologia “sandy loam”. Dal momento che non sono stati eseguiti sondaggi direttamente in tali aree, non si hanno informazioni precise sulle relative stratigrafie ed ai fini della scelta della litologia maggiormente rappresentativa, avendo escluso la presenza di terreno di riporto, sono state utilizzate le elaborazioni effettuate da SOGESID nell’ambito del Progetto definitivo “Realizzazione degli Interventi di Messa in Sicurezza e Bonifica della falda del SIN Napoli Orientale – Progetto Definitivo Luglio 2015” e le stratigrafie disponibili nelle aree circostanti, considerando la litologia sottostante il terreno di riporto;
 - III. quale tessitura rappresentativa del suolo profondo saturo è stata selezionata, in via cautelativa, una “sandy loam”;
 - IV. il valore della profondità del piano di falda corrisponde a LCL 95%, calcolato con il software pro UCL e le cui elaborazioni sono riportate nell’Allegato 13;
 - V. lo spessore di suolo profondo insaturo contaminato è stato selezionato facendo riferimento alla massima profondità a cui si è rinvenuta contaminazione ed al più elevato valore di soggiacenza.
- i parametri degli edifici, laddove necessari, corrispondono a quelli di default, in quanto, dato l’elevatissimo numero di abitazioni, è risultato impossibile valutare l’edificio con caratteristiche maggiormente cautelative. In ogni caso, i parametri di default si sono mostrati più cautelativi rispetto a quelli sito specifici degli edifici visionati direttamente in sito. Inoltre, sono state effettuate diverse simulazioni, ed è stato selezionato il caso maggiormente cautelativo corrispondente ad un edificio residenziale piano terra. Si evidenzia che, i piani seminterrati individuati per alcuni edifici, non sono utilizzati a scopo abitativo, ma esclusivamente come deposito e/o cantina. Le simulazioni effettuate hanno mostrato che lo scenario con edificio residenziale a piano terra risulta maggiormente cautelativo di uno scenario con edificio a scopo “ricreativo”(utilizzo per circa 3 ore al giorno) o commerciale (presenza di 8 ore al giorno) in piano seminterrato;
- la velocità del vento è stata calcolata utilizzando il valore minore delle velocità medie annuali della serie storica trentennale facente riferimento alla centralina meteo più prossima all’area (Allegato 10), una classe di stabilità D ed un suolo urbano;
- l’esposizione outdoor nelle aree residenziali (spazi a verde, aree ricreative) è stata posta pari a 3 ore al giorno, mentre nel Caso 2 (aree agricole) è pari a 8 ore al giorno;

- per i parametri non determinati in fase di caratterizzazione ambientale, quali foc, pH, densità, sono stati adottati valori di default.

Relativamente ad alcuni contaminanti rinvenuti in sito sono state effettuate le seguenti scelte:

- per gli idrocarburi, non essendo presente una speciazione degli stessi, è stata selezionata la frazione MADEP maggiormente critica in base al modello concettuale attivato (suolo superficiale Aromatici C9-C10 per C<12 e Alifatici C9-C18 per C>12; suolo profondo Alifatici C5- C8 per C<12 e Alifatici C9-C18 per C>12; falda: Alifatici C9-C18);
- la concentrazione dei PCB è stata attribuita ai PCB dioxin like (dl), in quanto più cautelativi, per tutti i percorsi ad eccezione dell’inalazione di vapori, per la quale si è fatto riferimento ai PCB tot, considerati semivolatili (Banca Dati ISS INAIL, Marzo 2015);
- per l’analita Mercurio è stata considerata la forma Mercurio elementare in quanto rappresenta la scelta più cautelativa rispetto ai percorsi attivati;
- i limiti di riferimento nel suolo per Berillio e Vanadio corrispondono ai valori di fondo stabiliti per il SIN di Napoli Orientale.

Relativamente alle matrici ambientali interessate dalla contaminazione, in assenza di campioni prelevati nel suolo superficiale, sono stati associati i risultati analitici del suolo profondo e viceversa. Tale scelta è stata dettata dalla necessità di non poter considerare un punto non contaminato esclusivamente in base all’assenza di dati analitici. I sondaggi per cui sono presenti esclusivamente campioni di terreno saturo (n. 19) non sono stati presi in considerazione.

Si evidenzia che non è stato valutato il Rischio cumulato, in quanto le CSR calcolate non corrispondono agli obiettivi di bonifica, ma ai valori di screening rispetto alle quali individuare le aree critiche su cui approfondire le indagini già svolte. Pertanto successivamente ai suddetti approfondimenti si terrà conto della presenza contemporanea di più contaminanti rispetto a cui valutare il rischio cumulato.

Inoltre, per molti dei contaminanti, le CSR sono state poste uguali alle CSC e pertanto non rientrano nel calcolo del rischio cumulato.

Infine, considerato che la contaminazione presente in tutto il sito è stata associata ad un’unica area di default, si sarebbe ottenuto un risultato eccessivamente cautelativo.

3.5 CASO 1 - Aree Residenziali

Per aree Residenziali si intende uno scenario in cui sono presenti edifici adibiti a civile abitazione e ad attività commerciali, con presenza di aree a verde utilizzate a scopi vari. Si evidenzia che la maggior parte della superficie delle RSA utilizzata a scopo residenziale non presenta aree a verde, tuttavia cautelativamente nel modello concettuale del sito l’ambiente outdoor è stato considerato non pavimentato.

3.5.1 *Modello concettuale del sito*

- ✓ Le sorgenti di contaminazione sono state individuate nel suolo superficiale, nel suolo profondo e in falda;
- ✓ i percorsi di esposizione attivati sono ingestione, contatto dermico, inalazione di polveri e vapori indoor e outdoor;
- ✓ i bersagli selezionati sono i residenti.

Nelle Tabelle 3.2, 3.3 e 3.4 si riportano le concentrazioni massime delle sostanze volatili e semivolatili rinvenute nei suoli superficiali, nei suoli profondi e nelle acque sotterranee e che sono state assunte quali concentrazioni rappresentative della sorgente per il caso 1.

**Tabella 3.2 – Concentrazioni rappresentative della sorgente
 Suolo Superficiale Caso 1- Aree residenziali**

Contaminante	CRS (mg/kg)
2,4,6-Triclorofenolo	0,06
2,4- Diclorofenolo	1,78
Pentaclorofenolo	0,41
Benzene	0,3
Toluene	0,87
Xileni	0,91
Diclorometano	0,24
Idrocarburi C>12	4582,5
Idrocarburi C<12	53,4
Triclorometano	0,41
Piombo Tetraetile	0,47
Rame	285
Cromo totale	373
Vanadio	274,4
Zinco	419,6
Selenio	22,9
Cadmio	4,1
Mercurio	6,1
Tallio	4,6
Piombo	4624
Berillio	18,6
Cobalto	40,8
Arsenico	23,6
Benzo(a)antracene	8,15
Benzo(a)pirene	6,61
Benzo(b)fluorantene	12,23
Benzo(k)fluorantene	8,65
Benzo(g,h,i)perilene	6,82
Crisene	8,64
Dibenzo(a,e)pirene	2,79
Dibenzo(a,i)pirene	3,00
Dibenzo(a,l)pirene	4,16
Dibenzo(a,h)pirene	1,63
Dibenzo(a,h)antracene	2,45
Indenopirene	5,97
Pirene	12,6
PCB	1,10

Tabella 3.3 – Concentrazioni rappresentative della sorgente Suolo profondo Caso 1- Aree residenziali

Contaminante	CRS (mg/kg)
2,4,6-Triclorofenolo	0,06
2,4- Diclorofenolo	1,78
Pentaclorofenolo	0,41
Benzene	0,3
Toluene	0,87
Xileni	0,91
Diclorometano	0,24
Idrocarburi C>12	4582,5
Idrocarburi C<12	53,4
Triclorometano	0,41
PCB	1,10
Piombo Tetraetile	0,47
Mercurio	6,1

Tabella 3.4 – Concentrazioni rappresentative della sorgente Acque sotterranee Caso 1- Aree residenziali

Contaminante	CRS (mg/l)
MTBE	0,083
Benzene	0,14
Etilbenzene	0,0934
Toluene	0,0210
p-Xilene	0,222
Triclorometano	0,00033
Cloruro di vinile	0,00835
1,1-Dicloroetilene	0,000251
Tricloroetilene	0,113
Tetracloroetilene (PCE)	0,195
1,2-trans-Dicloroetilene	0,193
1,2-Dicloropropano	0,000205
1,1,2-Tricloroetano	0,00045
Idrocarburi totali	3,42
Mercurio	0,0076
Piombo Tetraetile	0,265

3.5.2 R
i

sultati

3.5.2.1 Suolo superficiale

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta ha evidenziato Rischio non accettabile per i seguenti contaminanti:

- **Alifatici C9-C18, Mercurio elementare:** inalazione vapori indoor ed outdoor;
- **Triclorometano, Benzene:** inalazione vapori indoor;
- **Piombo Tetraetile:** ingestione suolo, contatto dermico, inalazione vapori indoor;
- **Piombo, Cobalto:** ingestione di suolo;
- **Benzo(a)antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Crisene, Dibenzo(a,i)pirene, Dibenzo(a,l)pirene, Dibenzo(a,h)pirene, Dibenzo(a,h)antracene, Indenopirene, PCB dl e tot, Arsenico, Tallio:** ingestione e contatto dermico.

Nella Figura 3.2 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile del rischio.

Figura. 3.2 – Valori del Rischio suolo superficiale – Caso 1- Aree residenziali

Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m³]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CRS ridotta suolo [mg/kg s.s.]	CRS ridotta soil-gas [mg/m³]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)
2,4,6-Triclorofenolo	6,00E-02	---		6,00E-02	---	1,55E-09	9,82E-04
Pentaclorofenolo	4,10E-01	---		4,10E-01	---	4,60E-07	1,78E-03
Xileni	1,24E+00	---		1,24E+00	---	---	2,99E-01
Diclorometano	2,40E-01	---		2,40E-01	---	2,04E-08	9,73E-03
Alifatici C9-C18	4,58E+03	---		4,58E+03	---	---	1,14E+02
Triclorometano	4,10E-01	---		4,10E-01	---	4,10E-05	1,01E-01
PCB dl	1,10E+00	---		1,10E+00	---	3,46E-02	2,80E+03
Piombo Tetraetile	4,70E-01	---		4,70E-01	---	---	7,72E+01
Rame	2,85E+02	---		2,85E+02	---	---	9,36E-02
Cromo totale	3,73E+02	---		3,73E+02	---	---	3,32E-03
Vanadio	2,74E+02	---		2,74E+02	---	---	8,98E-01
Zinco	4,20E+02	---		4,20E+02	---	---	1,84E-02
Selenio	2,29E+01	---		2,29E+01	---	---	6,02E-02
Cadmio	4,10E+00	---		4,10E+00	---	7,74E-11	1,05E-01
Mercurio elementare	6,10E+00	---		6,10E+00	---	---	3,91E+01

Benzo(a)antracene	8,15E+00	---	8,15E+00	---	1,33E-05	---
Benzo(a)pirene	6,61E+00	---	6,61E+00	---	2,51E-04	---
Benzo(b)fluorantene	1,22E+01	---	1,22E+01	---	1,97E-05	---
Benzo(k)fluorantene	8,65E+00	---	8,65E+00	---	1,40E-05	---
Benzo(g,h,i)perilene	6,82E+00	---	6,82E+00	---	---	4,02E-03
Crisene	8,64E+00	---	8,64E+00	---	1,40E-05	---
Dibenzo(a,e)pirene	2,79E+00	---	2,79E+00	---	---	1,63E-03
Dibenzo(a,i)pirene	3,00E+00	---	3,00E+00	---	4,84E-06	---
Dibenzo(a,l)pirene	4,16E+00	---	4,16E+00	---	6,71E-05	---
Dibenzo(a,h)pirene	1,63E+00	---	1,63E+00	---	2,63E-06	---
Dibenzo(a,h)antracene	2,45E+00	---	2,45E+00	---	9,30E-05	---
Indenopirene	5,97E+00	---	5,97E+00	---	9,63E-06	---
Pirene	1,26E+01	---	1,26E+01	---	---	1,08E-02
PCB Tot.	1,10E+00	---	1,10E+00	---	5,42E-06	---
2,4-Diclorofenolo	1,78E+00	---	1,78E+00	---	---	1,18E-02
Benzene	3,00E-01	---	3,00E-01	---	1,02E-05	2,41E-01
Toluene	8,70E-01	---	8,70E-01	---	---	4,19E-03
Berillio	1,86E+01	---	1,86E+01	---	4,68E-10	1,22E-01
Cobalto	4,08E+01	---	4,08E+01	---	---	1,79E+00
Arsenico	2,36E+01	---	2,36E+01	---	6,07E-05	1,09E+00
Aromatici C9-C10	5,34E+01	---	5,34E+01	---	---	9,61E+00
Tallio	4,60E+00	---	4,60E+00	---	---	7,53E+00

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	3,51E-02	2,91E+03
Indoor	1,34E-03	2,06E+02

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR indicate nella Figura 3.3, che rappresentano le concentrazioni per cui non si rileva un rischio di tipo sanitario.

Figura 3.3 – Valori CSR suolo superficiale – Caso 1- Aree residenziali

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.]	Rischio cancerogeno (R)	Indice di pericolo (HI)	CSC Residenziali [mg/kg s.s.]	CRS in sorgente [mg/kg s.s.]
2,4,6-Triclorofenolo	3,87E+01	3,87E+01	1,00E-06	6,33E-01	1,00E-02	6,00E-02
Pentaclorofenolo	8,92E-01	8,92E-01	1,00E-06	3,88E-03	1,00E-02	4,10E-01
Xileni	4,15E+00	4,15E+00	---	1,00E+00	5,00E-01	1,24E+00
Diclorometano	1,18E+01	1,18E+01	1,00E-06	4,78E-01	1,00E-01	2,40E-01
Alifatici C9-C18	4,03E+01	4,03E+01	---	1,00E+00	1,00E+01	4,58E+03
Triclorometano	1,00E-02	1,00E-02	1,00E-06	2,46E-03	1,00E-01	4,10E-01
PCB dl	3,18E-05	3,18E-05	1,00E-06	8,11E-02	6,00E-02	1,10E+00

Piombo Tetraetile	6,08E-03	6,08E-03	---	1,00E+00	1,00E+02	4,70E-01
Rame	3,04E+03	3,04E+03	---	1,00E+00	1,20E+02	2,85E+02
Cromo totale	1,12E+05	1,12E+05	---	1,00E+00	1,50E+02	3,73E+02
Vanadio	3,06E+02	3,06E+02	---	1,00E+00	9,00E+01	2,74E+02
Zinco	2,28E+04	2,28E+04	---	1,00E+00	1,50E+02	4,20E+02
Selenio	3,80E+02	3,80E+02	---	1,00E+00	3,00E+00	2,29E+01
Cadmio	3,90E+01	3,90E+01	7,36E-10	1,00E+00	2,00E+00	4,10E+00
Mercurio elementare	1,56E-01	1,56E-01	---	1,00E+00	1,00E+00	6,10E+00
Piombo	2,66E+02	2,66E+02	---	1,00E+00	1,00E+02	4,62E+03
Benzo(a)antracene	6,15E-01	6,15E-01	1,00E-06	---	5,00E-01	8,15E+00
Benzo(a)pirene	2,63E-02	2,63E-02	1,00E-06	---	1,00E-01	6,61E+00
Benzo(b)fluorantene	6,20E-01	6,20E-01	1,00E-06	---	5,00E-01	1,22E+01
Benzo(k)fluorantene	6,20E-01	6,20E-01	1,00E-06	---	5,00E-01	8,65E+00
Benzo(g,h,i)perilene	1,70E+03	1,70E+03	---	1,00E+00	1,00E-01	6,82E+00
Crisene	6,18E-01	6,18E-01	1,00E-06	---	5,00E+00	8,64E+00
Dibenzo(a,e)pirene	1,72E+03	1,72E+03	---	1,00E+00	1,00E-01	2,79E+00
Dibenzo(a,i)pirene	6,20E-01	6,20E-01	1,00E-06	---	1,00E-01	3,00E+00
Dibenzo(a,l)pirene	6,20E-02	6,20E-02	1,00E-06	---	1,00E-01	4,16E+00
Dibenzo(a,h)pirene	6,20E-01	6,20E-01	1,00E-06	---	1,00E-01	1,63E+00
Dibenzo(a,h)antracene	2,63E-02	2,63E-02	1,00E-06	---	1,00E-01	2,45E+00
Indenopirene	6,20E-01	6,20E-01	1,00E-06	---	1,00E-01	5,97E+00
Pirene	1,17E+03	1,17E+03	---	1,00E+00	5,00E+00	1,26E+01
PCB Tot.	2,03E-01	2,03E-01	1,00E-06	---	6,00E-02	1,10E+00
2,4-Diclorofenolo	1,50E+02	1,50E+02	---	1,00E+00	5,00E-01	1,78E+00
Benzene	2,95E-02	2,95E-02	1,00E-06	2,37E-02	1,00E-01	3,00E-01
Toluene	2,07E+02	2,07E+02	---	1,00E+00	5,00E-01	8,70E-01
Berillio	1,52E+02	1,52E+02	3,82E-09	9,99E-01	2,00E+00	1,86E+01
Cobalto	2,28E+01	2,28E+01	---	1,00E+00	2,00E+01	4,08E+01
Arsenico	3,89E-01	3,89E-01	1,00E-06	1,80E-02	2,00E+01	2,36E+01
Aromatici C9-C10	5,55E+00	5,55E+00	---	1,00E+00	1,00E+01	5,34E+01
Tallio	6,11E-01	6,11E-01	---	1,00E+00	1,00E+00	4,60E+00
				R tot	HI tot	
				1,51E-05	1,59E+01	
				3,26E-06	6,73E+00	

In Tabella 3.4 si riportano le CSR definitive nel suolo superficiale. In rosso sono indicati i contaminanti per cui le CSR superano le CRS.

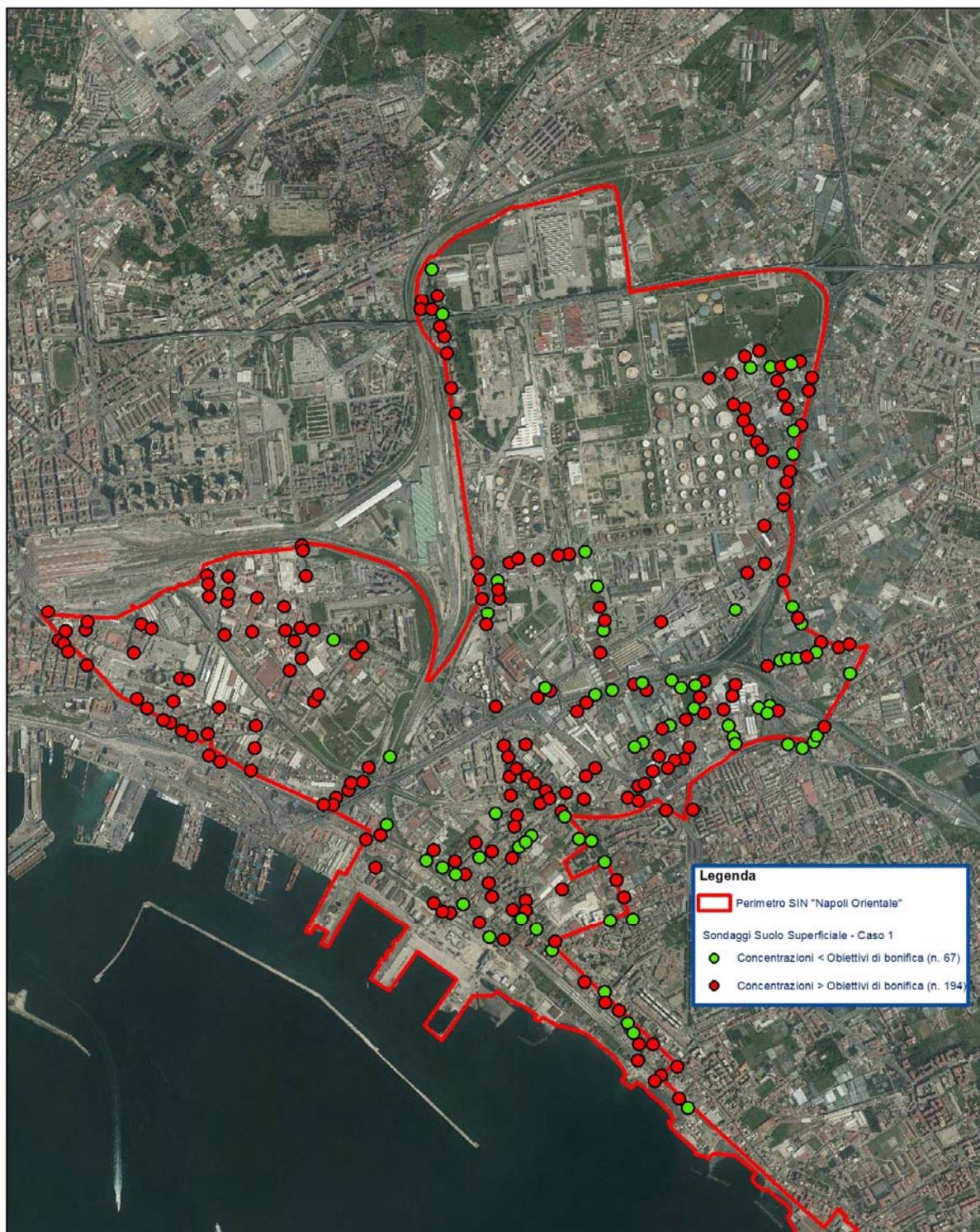
Per Triclorometano, Idrocarburi pesanti e leggeri, PCB dl, Piombo Tetraetile, Benzo(a)pirene, Crisene, Dibenzo(a,l)pirene, Dibenzo(a,h)antracene, Benzene, Arsenico, Tallio e Mercurio le CSR sono risultate inferiori alle CSC e/o concentrazioni di riferimento, pertanto queste ultime sostituiscono le CSR.

**Tabella. 3.4 –
 CSR suolo superficiale – Caso 1- Aree residenziali**

Contaminanti	CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.]
2,4,6-Triclorofenolo	3,87E+01
Pentaclorofenolo	8,92E-01
Xileni	4,15E+00
Diclorometano	1,18E+01
C>12	5,00E+01
Triclorometano	1,00E-01
PCB	6,00E-02
Piombo Tetraetile	1,00E-02
Rame	3,04E+03
Cromo totale	1,12E+05
Vanadio	3,06E+02
Zinco	2,28E+04
Selenio	3,80E+02
Cadmio	3,90E+01
Mercurio	1,00E+00
Piombo	2,66E+02
Benzo(a)antracene	6,15E-01
Benzo(a)pirene	1,00E-01
Benzo(b)fluorantene	6,20E-01
Benzo(k)fluorantene	6,20E-01
Benzo(g,h,i)perilene	1,70E+03
Crisene	5,00E+00
Dibenzo(a,e)pirene	1,72E+03
Dibenzo(a,i)pirene	6,20E-01
Dibenzo(a,l)pirene	1,00E-01
Dibenzo(a,h)pirene	6,20E-01
Dibenzo(a,h)antracene	1,00E-01
Indenopirene	6,20E-01
Pirene	1,17E+03
2,4-Diclorofenolo	1,50E+02
Benzene	1,00E-01
Toluene	2,07E+02
Berillio	1,52E+02
Cobalto	2,28E+01
Arsenico	2,00E+01
C<12	1,00E+01
Tallio	1,00E+00

In totale sono stati rilevati n. 194 sondaggi su 261 con superamenti rispetto alle CSR e sono stati rappresentati in Figura 3.4.

Figura 3.4 – Superamenti rispetto alle CSR suolo superficiale- Caso 1- Aree residenziali



3.5.2.2 Suolo Profondo

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta ha evidenziato un rischio non accettabile per i seguenti analiti e le seguenti vie di esposizione:

- **idrocarburi alifatici C9-C18 e Mercurio elementare:** inalazione vapori indoor e outdoor;
- **Triclorometano, Piombo Tetraetile, Benzene, Alifatici C5-C8:** inalazione vapori indoor.

Nella Figura 3.5 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile del rischio.

Figura. 3.5 – Valori del Rischio suolo profondo – Caso 1- Aree residenziali

Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m ³]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CRS ridotta suolo [mg/kg s.s.]	CRS ridotta soil-gas [mg/m ³]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)
2,4,6-Triclorofenolo	6,00E-02	---		6,00E-02	---	2,33E-10	---
Pentaclorofenolo	4,10E-01	---		4,10E-01	---	2,26E-10	---
Xileni	1,24E+00	---		1,24E+00	---	---	3,86E-01
Diclorometano	2,40E-01	---		2,40E-01	---	4,07E-08	1,95E-02
Alifatici C9-C18	4,58E+03	---		4,58E+03	---	---	1,10E+02
Triclorometano	4,10E-01	---		4,10E-01	---	8,20E-05	2,02E-01
Piombo Tetraetile	4,70E-01	---		4,70E-01	---	---	3,72E+01
Mercurio elementare	6,10E+00	---		6,10E+00	---	---	3,79E+01
PCB Tot.	1,10E+00	---		1,10E+00	---	3,30E-07	---
2,4-Diclorofenolo	1,78E+00	---		1,78E+00	---	---	6,96E-03
Benzene	3,00E-01	---		3,00E-01	---	2,03E-05	4,83E-01
Toluene	8,70E-01	---		8,70E-01	---	---	8,39E-03
Alifatici C5-C8	5,34E+01	---		5,34E+01	---	---	1,29E+01

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	2,77E-07	4,81E+00
Indoor	1,03E-04	2,00E+02

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR indicate nella Figura n. 3.6, che rappresentano le concentrazioni per cui non si rileva un rischio di tipo sanitario.

Figura. 3.6 – Valori CSR suolo profondo – Caso 1- Aree residenziali

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	CSR suolo profondo [mg/kg s.s.]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	CSC Residenziale [mg/kg s.s.]	CRS in sorgente [mg/kg s.s.]
2,4,6-Triclorofenolo	2,58E+02	2,58E+02	1,00E-06	---	1,00E-02	6,00E-02
Pentaclorofenolo	1,81E+03	1,81E+03	1,00E-06	---	1,00E-02	4,10E-01
Xileni	3,21E+00	3,21E+00	---	1,00E+00	5,00E-01	1,24E+00
Diclorometano	5,90E+00	5,90E+00	1,00E-06	4,78E-01	1,00E-01	2,40E-01
Alifatici C9-C18	4,15E+01	4,15E+01	---	1,00E+00	1,00E+01	4,58E+03
Triclorometano	5,00E-03	5,00E-03	1,00E-06	2,46E-03	1,00E-01	4,10E-01
Piombo Tetraetile	1,26E-02	1,26E-02	---	1,00E+00	1,00E+02	4,70E-01
Mercurio elementare	1,61E-01	1,61E-01	---	1,00E+00	1,00E+00	6,10E+00
PCB Tot.	3,33E+00	3,33E+00	1,00E-06	---	6,00E-02	1,10E+00
2,4-Diclorofenolo	2,56E+02	2,56E+02	---	1,00E+00	5,00E-01	1,78E+00
Benzene	1,47E-02	1,47E-02	1,00E-06	2,37E-02	1,00E-01	3,00E-01
Toluene	1,04E+02	1,04E+02	---	1,00E+00	5,00E-01	8,70E-01
Alifatici C5-C8	4,14E+00	4,14E+00	---	1,00E+00	1,00E+01	5,34E+01

R tot	HI tot
1,52E-07	1,52E-01
6,00E-06	7,50E+00

Per tutti i contaminanti per cui è risultato rischio non accettabile le CSR sono inferiori alle CSC, ad eccezione del Piombo tetraetile la cui CSR è comunque molto prossima alla CSC. Le CSR individuate per i suddetti contaminanti corrispondono alle CSC.

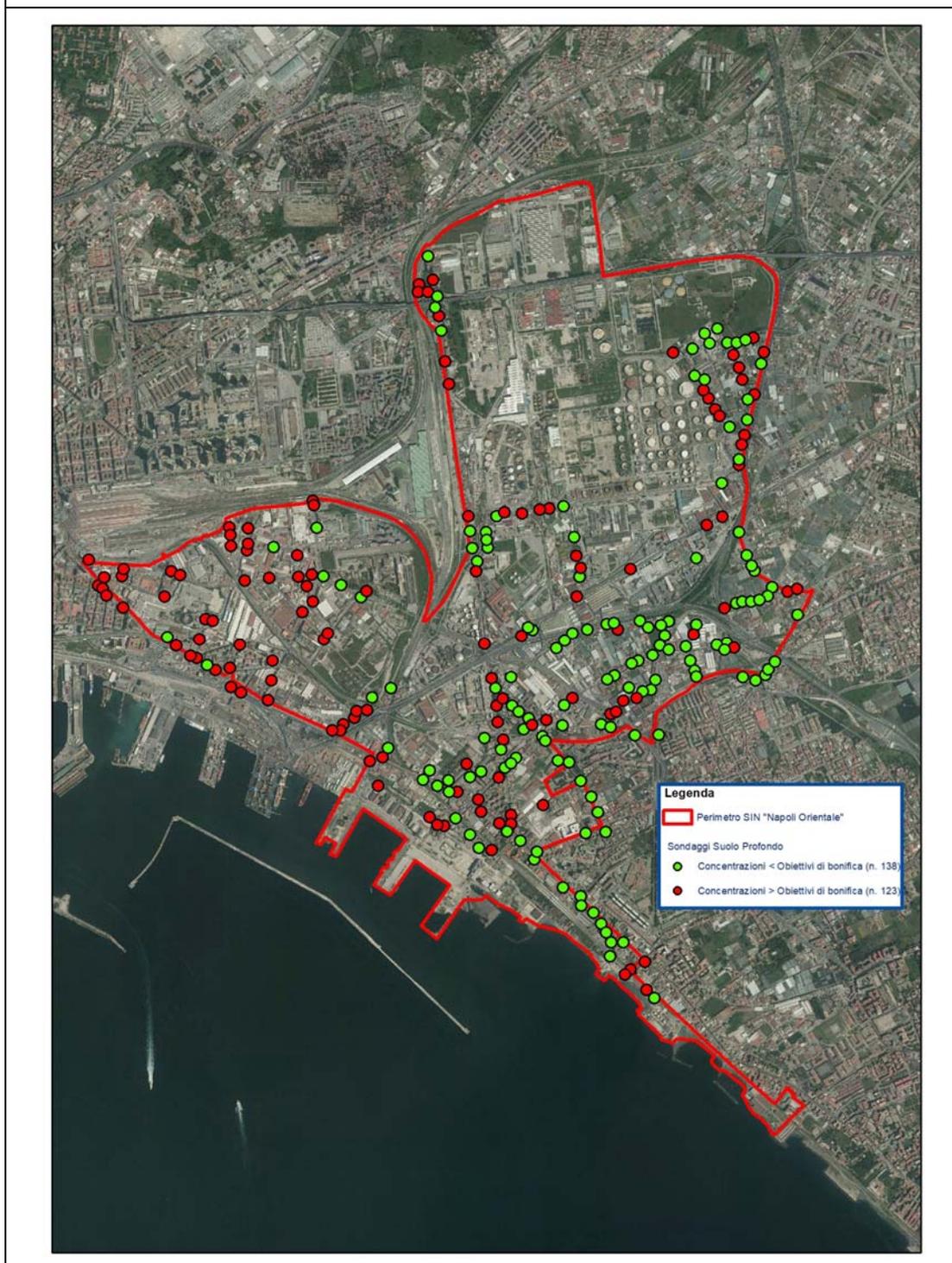
In Tabella 3.4 si riportano le CSR definitive nel suolo profondo. In rosso sono stati indicati i contaminanti con CSR>CRS.

Tabella 3.4 – CSR definitive suolo profondo – Caso 1- Aree residenziali

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]
2,4,6-Triclorofenolo	2,58E+02
Pentaclorofenolo	1,81E+03
Xileni	3,21E+00
Diclorometano	5,90E+00
C>12	5,00E+01
Triclorometano	1,00E-01
Piombo Tetraetile	1,26E-02
Mercurio	1,00E+00
PCB	3,33E+00
2,4-Diclorofenolo	2,56E+02
Benzene	1,00E-01
Toluene	1,04E+02
C<12	1,00E+01

In totale sono stati rilevati n. 123 sondaggi su 261 con superamenti rispetto agli obiettivi di bonifica e sono stati rappresentati nella Figura 3.7.

Figura. 3.7 – Superamenti rispetto alle CSR suolo profondo – Caso 1 Aree residenziali



3.5.2.3 Acque sotterranee

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta ha evidenziato un rischio non accettabile per i seguenti contaminanti e le seguenti vie di esposizione:

- **Piombo Tetraetile e Idrocarburi totali:** inalazione vapori indoor e outdoor;
- **Benzene, Etilbenzene, Cloruro di Vinile, Tricloroetilene, Tetracloroetilene e Mercurio elementare:** inalazione vapori indoor;

Nella Figura 3.8 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile del rischio.

Gli idrocarburi alifatici C9-C18 rappresentano la classe MADEP per cui è risultato un Indice di pericolo più elevato.

Figura. 3.8 – Valori del Rischio falda – Caso 1 Aree residenziali

Contaminanti	CRS [mg/L]	CRS soil-gas [mg/m³]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CRS ridotta falda [mg/L]	CRS ridotta soil-gas [mg/m³]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)
Mercurio elementare	7,60E-03	---		7,60E-03	---	---	1,37E+00
Piombo Tetraetile	2,65E-01	---		2,65E-01	---	---	7,06E+03
Alifatici C9-C18	3,42E+00	---		3,42E+00	---	---	2,89E+02
1,1,2-Tricloroetano	4,50E-04	---		4,50E-04	---	1,48E-08	2,57E-02
1,2-Dicloropropano	2,05E-04	---		2,05E-04	---	1,28E-08	1,78E-03
1,2-trans-Dicloroetilene	1,93E-01	---		1,93E-01	---	---	1,86E-01
Tetracloroetilene (PCE)	1,95E-01	---		1,95E-01	---	1,22E-06	6,53E-01
1,1-Dicloroetilene	2,51E-04	---		2,51E-04	---	---	4,14E-04
Tricloroetilene	1,13E-01	---		1,13E-01	---	1,68E-05	5,82E+00
Cloruro di vinile	8,35E-03	---		8,35E-03	---	4,24E-06	3,62E-02
Triclorometano	3,30E-04	---		3,30E-04	---	6,34E-08	1,56E-04
p-Xilene	2,22E-01	---		2,22E-01	---	---	1,60E-01
Toluene	2,10E-02	---		2,10E-02	---	---	3,32E-04
Etilbenzene	9,34E-02	---		9,34E-02	---	3,46E-06	7,67E-03
Benzene	1,40E-01	---		1,40E-01	---	1,52E-05	3,60E-01
MTBE	8,30E-02	---		8,30E-02	---	---	2,56E-04

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	1,72E-07	2,55E+01
Indoor	4,10E-05	7,36E+03

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR indicate nella Figura 3.9, che rappresentano le concentrazioni per cui non si rileva un rischio di tipo sanitario.

Per Idrocarburi totali, Etilbenzene e Piombo tetraetile le CSR sono risultate inferiori alle CSC, pertanto queste ultime corrisponderanno alle effettive CSR.

Figura. 3.9 – Valori CSR falda – Caso 1 Aree residenziali

Contaminanti	CSR individuale [mg/L]	CSR falda [mg/L]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	CSC D.Lgs 152/06 [mg/L]	Solubilità [mg/L]	CRS in sorgente [mg/L]
Mercurio elementare	5,56E-03	5,56E-03	---	1,00E+00	1,00E-03	6,00E-02	7,60E-03
Piombo Tetraetile	3,75E-05	3,75E-05	---	1,00E+00	1,00E-02	2,90E-01	2,65E-01
Alifatici C9-C18	1,18E-02	1,18E-02	---	1,00E+00	3,50E-01	1,00E-02	3,42E+00
1,1,2-Tricloroetano	1,75E-02	1,75E-02	5,76E-07	1,00E+00	2,00E-04	4,59E+03	4,50E-04
1,2-Dicloropropano	1,60E-02	1,60E-02	1,00E-06	1,39E-01	1,50E-04	2,80E+03	2,05E-04
1,2-trans-Dicloroetilene	1,04E+00	1,04E+00	---	1,00E+00		4,50E+03	1,93E-01
Tetracloroetilene (PCE)	1,60E-01	1,60E-01	1,00E-06	5,35E-01	1,10E-03	2,06E+02	1,95E-01
1,1-Dicloroetilene	6,07E-01	6,07E-01	---	1,00E+00	5,00E-05	2,42E+03	2,51E-04
Tricloroetilene	6,71E-03	6,71E-03	1,00E-06	3,46E-01	1,50E-03	1,28E+03	1,13E-01
Cloruro di vinile	1,97E-03	1,97E-03	1,00E-06	8,54E-03	5,00E-04	8,80E+03	8,35E-03
Triclorometano	5,20E-03	5,20E-03	1,00E-06	2,46E-03	1,50E-04	7,95E+03	3,30E-04
p-Xilene	1,38E+00	1,38E+00	---	1,00E+00	1,00E-02	1,62E+02	2,22E-01
Toluene	6,32E+01	6,32E+01	---	1,00E+00	1,50E-02	5,26E+02	2,10E-02
Etilbenzene	2,70E-02	2,70E-02	1,00E-06	2,22E-03	5,00E-02	1,69E+02	9,34E-02
Benzene	9,22E-03	9,22E-03	1,00E-06	2,37E-02	1,00E-03	1,79E+03	1,40E-01
MTBE	3,24E+02	3,24E+02	---	1,00E+00		5,10E+04	8,30E-02

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	3,47E-08	4,24E-02
Indoor	7,58E-06	1,01E+01

In Tabella 3.5 sono indicate le CSR definitive per la falda. In rosso i contaminanti con CSR>CSC.

Tabella 3.5 CSR definitive falda - Caso 1 Aree residenziali

Contaminanti	CSR individuale [mg/L]
Mercurio	5,56E-03
Piombo Tetraetile	1,00E-04
Idrocarburi totali	3,50E-01
1,1,2-Tricloroetano	1,75E-02
1,2-Dicloropropano	1,60E-02
1,2 Dicloroetilene	1,04E+00
Tetracloroetilene	1,60E-01
1,1-Dicloroetilene	6,07E-01
Tricloroetilene	6,71E-03
Cloruro di vinile	1,97E-03
Triclorometano	5,20E-03
Xilene	1,38E+00
Toluene	6,32E+01
Etilbenzene	5,00E-02
Benzene	9,22E-03
MTBE	3,24E+02

In totale sono stati rilevati n. 20 piezometri su 50 con superamenti rispetto alle CSR e sono stati rappresentati nella Figura 3.10.

Figura. 3.10 – Superamenti rispetto alle CSR Falda caso 1- Aree residenziali



3.5.3 Conclusioni Caso 1- Aree residenziali

Per il recettore residente presente nello scenario residenziale di cui al Caso 1 i risultati dell’AdR hanno rilevato la presenza di rischio non accettabile per molti dei contaminanti presenti nelle matrici ambientali investigate. In particolare:

➤ Suolo superficiale

- Idrocarburi alifatici C9-C18, Mercurio elementare: inalazione vapori indoor ed outdoor;
- Triclorometano, Benzene: inalazione vapori indoor;
- Piombo Tetraetile: ingestione suolo, contatto dermico, inalazione vapori indoor;
- Piombo, Cobalto: ingestione di suolo;
- Benzo(a)antracene Benzo(a)pirene Benzo(b)fluorantene Benzo(k)fluorantene, Crisene, Dibenzo(a,e)pirene Dibenzo(a,i)pirene Dibenzo(a,l)pirene Dibenzo(a,h)pirene Dibenzo(a,h)antracene Indenopirene PCB dl e Tot, Arsenico, Tallio: ingestione di suolo e contatto dermico.

➤ Suolo profondo

- Idrocarburi alifatici C9-C18, Mercurio elementare: inalazione vapori indoor e outdoor;
- Triclorometano, Piombo Tetraetile, Benzene, Alifatici C5-C8: inalazione vapori indoor.

➤ Acque sotterranee

- Piombo Tetraetile e Idrocarburi totali: inalazione vapori indoor e outdoor;
- Benzene, Etilbenzene, Cloruro di Vinile, Tricloroetilene, Tetracloroetilene e Mercurio elementare: inalazione vapori indoor;

Tuttavia, è opportuno effettuare alcune considerazioni:

1. dalla data di esecuzione del piano di caratterizzazione sono trascorsi circa 9 anni;
2. mancano analisi di speciazione degli idrocarburi e pertanto tutta la contaminazione è stata associata alla frazione più critica dal punto di vista della presenza di rischio sanitario con conseguente sovrastima dello stesso. In particolare per gli idrocarburi C>12 la frazione MADEP selezionata in via cautelativa è la C9-C18, che comprende anche idrocarburi C<12 che rappresentano l’effettiva frazione volatile;
3. per il Mercurio è stata selezionata, in via cautelativa, la forma che comporta il rischio maggiore per inalazione;
4. le aree residenziali sono state considerate non pavimentate e pertanto sono stati attivati anche i percorsi diretti di esposizione, sebbene la maggior parte degli edifici ad uso abitativo non abbia aree verdi di pertinenza e i campioni da investigare siano stati prelevati in corrispondenza di strade asfaltate;

5. le equazioni utilizzate nell’applicazione dell’analisi di rischio di Livello 2 portano spesso ad una sovrastima del rischio e a una sottostima delle CSR associate al percorso di volatilizzazione;
6. é stata approvata la prima fase attuativa del Progetto Definitivo di Bonifica della Falda del SIN di Napoli Orientale.

3.6 CASO 2 - Aree Agricole

Le aree agricole corrispondono ad uno scenario costituito da aree a verde utilizzate a scopo agricolo o incolte.

3.6.1 Modello concettuale del sito

- Le matrici ambientali individuate quali sorgenti di contaminazione sono il suolo superficiale, il suolo profondo e la falda idrica;
- i percorsi di esposizione attivati sono: ingestione, contatto dermico ed inalazione di polveri dal suolo superficiale; inalazione di vapori indoor e outdoor da suolo superficiale, suolo profondo e falda. L’inalazione indoor è stata attivata per la presenza di serre. Relativamente ai parametri degli spazi confinati, trattandosi di serre, è stato considerato uno spessore simbolico delle fondazioni/muri pari a 1 mm ed assenza di pavimentazione.
- i bersagli sono i lavoratori.

Nelle Tabelle 3.6, 3.7 e 3.8 si riportano le concentrazioni massime delle sostanze rinvenute nei suoli superficiali, nei suoli profondi e nelle acque sotterranee e che sono state assunte quali concentrazioni rappresentative della sorgente.

<i>Tabella 3.6 – Concentrazioni rappresentative della sorgente Suolo Superficiale Caso 2- Aree agricole</i>	
Contaminante	CRS (mg/kg)
2,4,6-Triclorofenolo	0,06
2,4- Diclorofenolo	1,78
Pentaclorofenolo	0,41
Benzene	0,3
Toluene	0,87
Xileni	0,91
Diclorometano	0,24
Idrocarburi C>12	4582,5
Idrocarburi C<12	53,4
Triclorometano	0,41
Piombo Tetraetile	0,47
Rame	285
Cromo totale	373
Vanadio	274,4

Zinco	419,6
Selenio	22,9
Cadmio	4,1
Mercurio	6,1
Tallio	4,6
Piombo	4624
Berillio	18,6
Cobalto	40,8
Arsenico	23,6
Benzo(a)antracene	8,15
Benzo(a)pirene	6,61
Benzo(b)fluorantene	12,23
Benzo(k)fluorantene	8,65
Benzo(g,h,i)perilene	6,82
Crisene	8,64
Dibenzo(a,e)pirene	2,79
Dibenzo(a,i)pirene	3,00
Dibenzo(a,l)pirene	4,16
Dibenzo(a,h)pirene	1,63
Dibenzo(a,h)antracene	2,45
Indenopirene	5,97
Pirene	12,6
PCB	1,10

**Tabella 3.7 – Concentrazioni rappresentative della sorgente
 Suolo profondo Caso 2- Aree agricole**

Contaminante	CRS (mg/kg)
2,4,6-Triclorofenolo	0,06
2,4- Diclorofenolo	1,78
Pentaclorofenolo	0,41
Benzene	0,3
Toluene	0,87
Xileni	0,91
Diclorometano	0,24
Idrocarburi C>12	4582,5
Idrocarburi C<12	53,4
Triclorometano	0,41
PCB	1,10
Piombo Tetraetile	0,47
Mercurio	6,1

**Tabella 3.8 – Concentrazioni rappresentative della sorgente
 Acque sotterranee Caso 2- Aree agricole**

Contaminante	CRS (mg/l)
MTBE	0,083
Benzene	0,14
Etilbenzene	0,0934
Toluene	0,0210
p-Xilene	0,222
Triclorometano	0,00033
Cloruro di vinile	0,00835
1,1-Dicloroetilene	0,000251
Tricloroetilene	0,113
Tetracloroetilene (PCE)	0,195
1,2-trans-Dicloroetilene	0,193
1,2-Dicloropropano	0,000205
1,1,2-Tricloroetano	0,00045
Idrocarburi totali	3,42
Mercurio	0,0076
Piombo Tetraetile	0,265

3.6.2 Risultati

3.6.2.1 Suolo Superficiale

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta ha evidenziato un rischio non accettabile per i seguenti analiti e le seguenti vie di esposizione:

- **Triclorometano, Idrocarburi alifatici C9-C18, Idrocarburi aromatici C9-C10, PCB Tot, Benzene, Mercurio elementare:** inalazione vapori indoor;
- **Piombo Tetraetile:** ingestione suolo, contatto dermico, inalazione vapori indoor;
- **Benzo(a)antracene Benzo(a)pirene Benzo(b)fluorantene Benzo(k)fluorantene, Crisene, Dibenzo(a,i)pirene, Dibenzo(a,l)pirene, Dibenzo(a,h)antracene, PCB dl, Arsenico:** ingestione di suolo e contatto dermico;
- **Indenopirene:** contatto dermico.

Nella Figura 3.11 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile del rischio.

Figura. 3.11 – Valori del Rischio suolo superficiale - Caso 2-Aree agricole

Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m ³]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CRS ridotta suolo [mg/kg s.s.]	CRS ridotta soil-gas [mg/m ³]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)
2,4,6-Triclorofenolo	6,00E-02	---		6,00E-02	---	3,52E-07	6,81E-05
Pentaclorofenolo	4,10E-01	---		4,10E-01	---	1,24E-07	1,73E-04
Xileni	1,24E+00	---		1,24E+00	---	---	6,53E-02
Diclorometano	2,40E-01	---		2,40E-01	---	4,52E-09	2,13E-03
Alifatici C9-C18	4,58E+03	---		4,58E+03	---	---	1,21E+02
Triclorometano	4,10E-01	---		4,10E-01	---	1,78E-05	2,21E-02
PCB dl	1,10E+00	---		1,10E+00	---	6,25E+00	1,15E+04
Piombo Tetraetile	4,70E-01	---		4,70E-01	---	---	3,31E+01
Rame	2,85E+02	---		2,85E+02	---	---	3,95E-03
Cromo totale	3,73E+02	---		3,73E+02	---	---	1,66E-04
Vanadio	2,74E+02	---		2,74E+02	---	---	6,23E-02
Zinco	4,20E+02	---		4,20E+02	---	---	7,75E-04
Selenio	2,29E+01	---		2,29E+01	---	---	2,54E-03
Cadmio	4,10E+00	---		4,10E+00	---	2,79E-11	4,07E-03
Mercurio elementare	6,10E+00	---		6,10E+00	---	---	1,07E+02
Piombo	4,62E+03	---		4,62E+03	---	---	7,32E-01
Benzo(a)antracene	8,15E+00	---		8,15E+00	---	6,08E-05	---
Benzo(a)pirene	6,61E+00	---		6,61E+00	---	2,30E-05	---
Benzo(b)fluorantene	1,22E+01	---		1,22E+01	---	4,26E-06	---
Benzo(k)fluorantene	8,65E+00	---		8,65E+00	---	3,01E-06	---
Benzo(g,h,i)perilene	6,82E+00	---		6,82E+00	---	---	5,74E-04
Crisene	8,64E+00	---		8,64E+00	---	2,75E-05	---
Dibenzo(a,e)pirene	2,79E+00	---		2,79E+00	---	---	1,35E-04
Dibenzo(a,i)pirene	3,00E+00	---		3,00E+00	---	1,04E-06	---
Dibenzo(a,l)pirene	4,16E+00	---		4,16E+00	---	1,45E-05	---
Dibenzo(a,h)pirene	1,63E+00	---		1,63E+00	---	5,65E-07	---
Dibenzo(a,h)antracene	2,45E+00	---		2,45E+00	---	8,51E-06	---
Indenopirene	5,97E+00	---		5,97E+00	---	2,07E-06	---
Pirene	1,26E+01	---		1,26E+01	---	---	2,59E+00
PCB Tot.	1,10E+00	---		1,10E+00	---	1,18E-03	---
2,4-Diclorofenolo	1,78E+00	---		1,78E+00	---	---	8,94E-01
Benzene	3,00E-01	---		3,00E-01	---	4,41E-06	5,28E-02
Toluene	8,70E-01	---		8,70E-01	---	---	9,17E-04
Berillio	1,86E+01	---		1,86E+01	---	1,69E-10	5,16E-03
Cobalto	4,08E+01	---		4,08E+01	---	---	7,54E-02
Arsenico	2,36E+01	---		2,36E+01	---	8,64E-06	5,37E-02
Aromatici C9-C10	5,34E+01	---		5,34E+01	---	---	5,63E+00
Tallio	4,60E+00	---		4,60E+00	---	---	5,22E-01

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR indicate nella Figura n. 3.12, che rappresentano le concentrazioni per cui non si rileva un rischio di tipo sanitario.

Per Alifatici C9-C18, Aromatici C9-C10, Triclorometano, PCB, Mercurio elementare, Benzene, Arsenico e Crisene le CSR sono risultate inferiori alle CSC, pertanto queste ultime saranno considerate quali CSR. Inoltre per i contaminanti considerati non volatili, la CSR selezionata è quella corrispondente all’esposizione outdoor.

Figura. 3.12 – Valori CSR suolo superficiale – Caso 2-Aree agricole

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.]	Rischio cancerogeno (R)	Indice di pericolo (HI)	CSC Residenziali [mg/kg s.s.]	CRS in sorgente [mg/kg s.s.]
2,4,6-Triclorofenolo	1,70E-01	1,70E-01	1,00E-06	1,93E-04	1,00E-02	6,00E-02
Pentaclorofenolo	3,30E+00	3,30E+00	1,00E-06	1,39E-03	1,00E-02	4,10E-01
Xileni	1,90E+01	1,90E+01	---	1,00E+00	5,00E-01	1,24E+00
Diclorometano	5,31E+01	5,31E+01	1,00E-06	4,71E-01	1,00E-01	2,40E-01
Alifatici C9-C18	3,78E+01	3,78E+01	---	1,00E+00	1,00E+01	4,58E+03
Triclorometano	2,31E-02	2,31E-02	1,00E-06	1,24E-03	1,00E-01	4,10E-01
PCB dl	1,76E-07	1,76E-07	1,00E-06	1,85E-03	6,00E-02	1,10E+00
Piombo Tetraetile	1,42E-02	1,42E-02	---	1,00E+00	1,00E+02	4,70E-01
Rame	7,22E+04	7,22E+04	---	1,00E+00	1,20E+02	2,85E+02
Cromo totale	NA	NA	---	---	1,50E+02	3,73E+02
Vanadio	4,40E+03	4,40E+03	---	1,00E+00	9,00E+01	2,74E+02
Zinco	5,42E+05	5,42E+05	---	1,00E+00	1,50E+02	4,20E+02
Selenio	9,03E+03	9,03E+03	---	1,00E+00	3,00E+00	2,29E+01
Cadmio	1,00E+03	1,00E+03	6,83E-09	9,94E-01	2,00E+00	4,10E+00
Mercurio elementare	5,69E-02	5,69E-02	---	1,00E+00	1,00E+00	6,10E+00
Piombo	6,32E+03	6,32E+03	---	1,00E+00	1,00E+02	4,62E+03
Benzo(a)antracene	1,34E-01	1,34E-01	1,00E-06	---	5,00E-01	8,15E+00
Benzo(a)pirene	2,87E-01	2,87E-01	1,00E-06	---	1,00E-01	6,61E+00
Benzo(b)fluorantene	2,87E+00	2,87E+00	1,00E-06	---	5,00E-01	1,22E+01
Benzo(k)fluorantene	2,87E+00	2,87E+00	1,00E-06	---	5,00E-01	8,65E+00
Benzo(g,h,i)perilene	1,19E+04	1,19E+04	---	1,00E+00	1,00E-01	6,82E+00
Crisene	3,14E-01	3,14E-01	1,00E-06	---	5,00E+00	8,64E+00
Dibenzo(a,e)pirene	2,07E+04	2,07E+04	---	1,00E+00	1,00E-01	2,79E+00
Dibenzo(a,i)pirene	2,88E+00	2,88E+00	1,00E-06	---	1,00E-01	3,00E+00
Dibenzo(a,l)pirene	2,88E-01	2,88E-01	1,00E-06	---	1,00E-01	4,16E+00
Dibenzo(a,h)pirene	2,88E+00	2,88E+00	1,00E-06	---	1,00E-01	1,63E+00
Dibenzo(a,h)antracene	2,88E-01	2,88E-01	1,00E-06	---	1,00E-01	2,45E+00
Indenopirene	2,88E+00	2,88E+00	1,00E-06	---	1,00E-01	5,97E+00
Pirene	4,88E+00	4,88E+00	---	1,00E+00	5,00E+00	1,26E+01
PCB Tot.	9,29E-04	9,29E-04	1,00E-06	---	6,00E-02	1,10E+00
2,4-Diclorofenolo	1,99E+00	1,99E+00	---	1,00E+00	5,00E-01	1,78E+00

Benzene	6,81E-02	6,81E-02	1,00E-06	1,20E-02	1,00E-01	3,00E-01
Toluene	9,49E+02	9,49E+02	---	1,00E+00	5,00E-01	8,70E-01
Berillio	3,50E+03	3,50E+03	3,18E-08	9,70E-01	2,00E+00	1,86E+01
Cobalto	5,41E+02	5,41E+02	---	1,00E+00	2,00E+01	4,08E+01
Arsenico	2,73E+00	2,73E+00	1,00E-06	6,22E-03	2,00E+01	2,36E+01
Aromatici C9-C10	9,49E+00	9,49E+00	---	1,00E+00	1,00E+01	5,34E+01
Tallio	8,81E+00	8,81E+00	---	1,00E+00	1,00E+00	4,60E+00

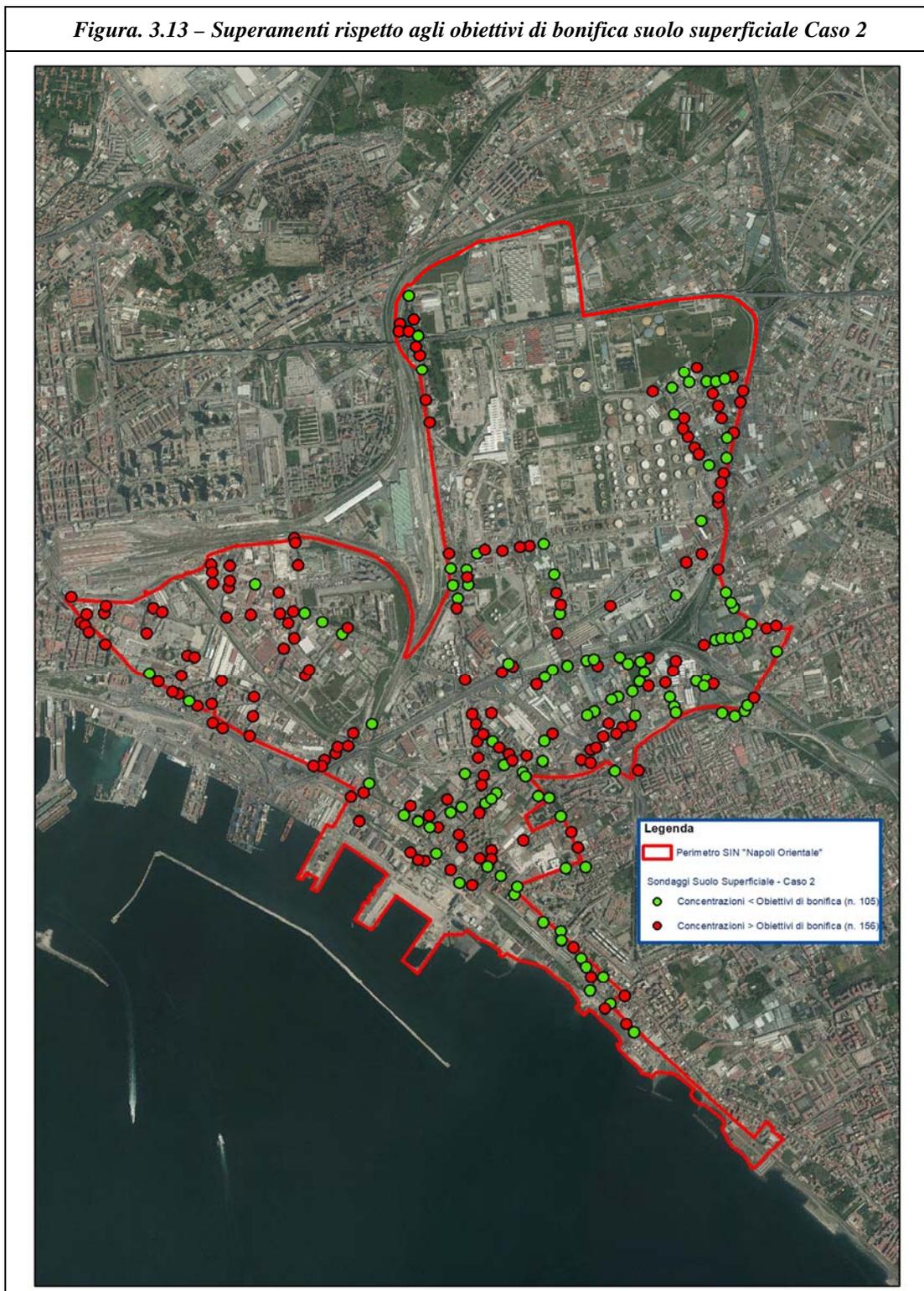
In Tabella 3.9 si riportano le CSR definitive.

Figura. 3.9 – CSR definitive Suolo Superficiale – Caso 2-Aree Agricole

Contaminanti	CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.]
2,4,6-Triclorofenolo	1,70E-01
Pentaclorofenolo	3,30E+00
Xileni	1,90E+01
Diclorometano	5,31E+01
Alifatici C9-C18	5,00E+01
Triclorometano	1,00E-01
PCB dl	6,00E-02
Piombo Tetraetile	1,42E-02
Rame	7,22E+04
Vanadio	4,40E+03
Zinco	5,42E+05
Selenio	9,03E+03
Cadmio	1,00E+03
Mercurio elementare	1,00E+00
Piombo	6,32E+03
Benzo(a)antracene	2,84E+00
Benzo(a)pirene	2,87E-01
Benzo(b)fluorantene	2,87E+00
Benzo(k)fluorantene	2,87E+00
Benzo(g,h,i)perilene	1,19E+04
Crisene	5,00E+00
Dibenzo(a,e)pirene	2,07E+04
Dibenzo(a,i)pirene	2,88E+00
Dibenzo(a,l)pirene	2,88E-01
Dibenzo(a,h)pirene	2,88E+00
Dibenzo(a,h)antracene	2,88E-01
Indenopirene	2,88E+00
Pirene	8,60E+03
PCB Tot.	6,00E-02
2,4-Diclorofenolo	1,99E+00
Benzene	1,00E-01
Toluene	9,49E+02
Berillio	3,50E+03
Cobalto	5,41E+02
Arsenico	2,00E+01
Aromatici C9-C10	1,00E+01
Tallio	8,81E+00

In totale sono stati rilevati n. 156 sondaggi su 261 con superamenti rispetto alle CSR e sono stati rappresentati nella Figura 3.13 .

Figura. 3.13 – Superamenti rispetto agli obiettivi di bonifica suolo superficiale Caso 2



3.6.2.2 Suolo Profondo

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta ha evidenziato Rischio non accettabile da inalazione vapori indoor per gli **idrocarburi alifatici C9-C18 e C5-C8, Triclorometano, Mercurio elementare, Benzene e Piombo tetraetile**.

Nella Figura 3.14 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile del rischio.

Figura. 3.14 – Valori del Rischio suolo profondo – Caso 2- Aree Agricole

Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m³]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CRS ridotta suolo [mg/kg s.s.]	CRS ridotta soil-gas [mg/m³]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)
2,4,6-Triclorofenolo	6,00E-02	---		6,00E-02	---	1,41E-09	---
Pentaclorofenolo	4,10E-01	---		4,10E-01	---	7,89E-09	---
Xileni	1,24E+00	---		1,24E+00	---	---	1,31E-01
Diclorometano	2,40E-01	---		2,40E-01	---	9,04E-09	4,26E-03
Alifatici C9-C18	4,58E+03	---		4,58E+03	---	---	6,18E+01
Triclorometano	4,10E-01	---		4,10E-01	---	3,55E-05	4,41E-02
Piombo Tetraetile	4,70E-01	---		4,70E-01	---	---	2,09E+01
Mercurio elementare	6,10E+00	---		6,10E+00	---	---	2,12E+01
PCB Tot.	1,10E+00	---		1,10E+00	---	3,78E-07	---
2,4-Diclorofenolo	1,78E+00	---		1,78E+00	---	---	1,16E-02
Benzene	3,00E-01	---		3,00E-01	---	8,82E-06	1,06E-01
Toluene	8,70E-01	---		8,70E-01	---	---	1,83E-03
Alifatici C5-C8	5,34E+01	---		5,34E+01	---	---	2,82E+00

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR indicate nella Figura 3.15, che rappresentano le concentrazioni per cui non si rileva un rischio di tipo sanitario per singola sostanza.

Per Triclorometano, Mercurio e Benzene le CSR sono risultate inferiori alle CSC, pertanto queste ultime costituiscono le effettive CSR.

Figura. 3.15 – Valori CSR suolo profondo – Caso 2- Aree Agricole

Contaminanti	CSR suolo profondo [mg/kg s.s.]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	CSC Residenziale [mg/kg s.s.]	CRS in sorgente [mg/kg s.s.]
2,4,6-Triclorofenolo	4,24E+01	1,00E-06	---	1,00E-02	6,00E-02
Pentaclorofenolo	5,20E+01	1,00E-06	---	1,00E-02	4,10E-01
Xileni	9,49E+00	---	1,00E+00	5,00E-01	1,24E+00
Diclorometano	2,65E+01	1,00E-06	4,71E-01	1,00E-01	2,40E-01
Alifatici C9-C18	7,42E+01	---	1,00E+00	1,00E+01	4,58E+03
Triclorometano	1,15E-02	1,00E-06	1,24E-03	1,00E-01	4,10E-01
Piombo Tetraetile	2,25E-02	---	1,00E+00	1,00E+02	4,70E-01
Mercurio elementare	2,88E-01	---	1,00E+00	1,00E+00	6,10E+00
PCB Tot.	2,91E+00	1,00E-06	---	6,00E-02	1,10E+00
2,4-Diclorofenolo	1,54E+02	---	1,00E+00	5,00E-01	1,78E+00
Benzene	3,40E-02	1,00E-06	1,20E-02	1,00E-01	3,00E-01
Toluene	4,74E+02	---	1,00E+00	5,00E-01	8,70E-01
Alifatici C5-C8	1,89E+01	---	1,00E+00	1,00E+01	5,34E+01

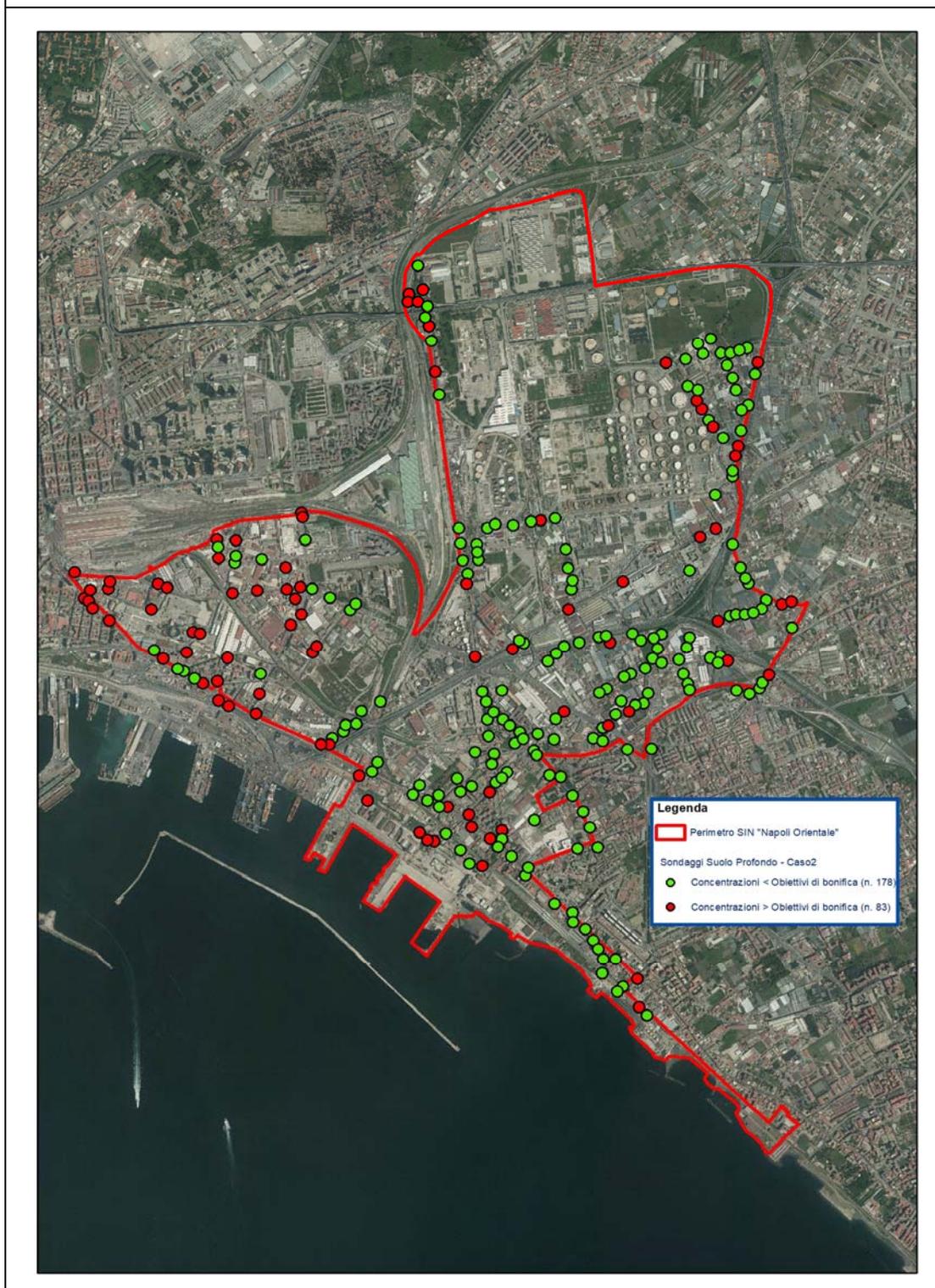
Nella Tabella 3.10 si riporta il quadro riepilogativo delle CSR relativamente alla sorgente Suolo Profondo.

Tabella. 3.10 – Valori CSR definitive suolo profondo – Caso 2- Aree Agricole

Contaminanti	CSR suolo profondo [mg/kg s.s.]
2,4,6-Triclorofenolo	4,24E+01
Pentaclorofenolo	5,20E+01
Xileni	9,49E+00
Diclorometano	2,65E+01
C>12	7,42E+01
Triclorometano	1,00E-01
Piombo Tetraetile	2,25E-02
Mercurio	1,00E+00
PCB	2,91E+00
2,4-Diclorofenolo	1,54E+02
Benzene	1,00E-01
Toluene	4,74E+02
C<12	1,89E+01

In totale sono stati rilevati n. 83 sondaggi su 261 con superamenti rispetto agli obiettivi di bonifica e sono stati rappresentati nella Figura 3.16.

Figura. 3.16 – Superamenti rispetto agli obiettivi di bonifica suolo profondo Caso 2-Aree Agricole



3.6.2.3 Falda

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta ha evidenziato:

- Rischio da inalazione vapori indoor per gli **idrocarburi alifatici C9-C18, Benzene, Etilbenzene, Tricloroetilene e Piombo tetraetile;**
- Rischio da inalazione vapori outdoor per **Piombo tetraetile.**

Nella Figura 3.17 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile del rischio.

Figura. 3.17 – Valori del Rischio falda – Caso 2

Contaminanti	CRS [mg/L]	CRS soil-gas [mg/m ³]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CRS ridotta falda [mg/L]	CRS ridotta soil-gas [mg/m ³]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)
Mercurio elementare	7,60E-03	---		7,60E-03	---	---	2,15E-01
Piombo Tetraetile	2,65E-01	---		2,65E-01	---	---	1,10E+03
Alifatici C9-C18	3,42E+00	---		3,42E+00	---	---	4,51E+01
1,1,2-Tricloroetano	4,50E-04	---		4,50E-04	---	5,80E-09	5,08E-03
1,2-Dicloropropano	2,05E-04	---		2,05E-04	---	4,13E-09	2,90E-04
1,2-trans-Dicloroetilene	1,93E-01	---		1,93E-01	---	---	2,96E-02
Tetracloroetilene (PCE)	1,95E-01	---		1,95E-01	---	3,80E-07	1,02E-01
1,1-Dicloroetilene	2,51E-04	---		2,51E-04	---	---	6,47E-05
Tricloroetilene	1,13E-01	---		1,13E-01	---	2,69E-06	9,16E-01
Cloruro di vinile	8,35E-03	---		8,35E-03	---	8,89E-07	5,65E-03
Triclorometano	3,30E-04	---		3,30E-04	---	2,02E-08	2,52E-05
p-Xilene	2,22E-01	---		2,22E-01	---	---	2,53E-02
Toluene	2,10E-02	---		2,10E-02	---	---	5,24E-05
Etilbenzene	9,34E-02	---		9,34E-02	---	1,08E-06	1,21E-03
Benzene	1,40E-01	---		1,40E-01	---	4,76E-06	5,69E-02
MTBE	8,30E-02	---		8,30E-02	---	---	5,16E-05

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR indicate nella Figura 3.18, che rappresentano le concentrazioni per cui non si rileva un rischio di tipo sanitario da singola sostanza.

Per gli Idrocarburi C9-C18 la CSR è risultata inferiore alla CSC, pertanto quest’ ultima sarà considerata l’effettiva CSR.

Figura. 3.18 – Valori CSR falda – Caso 2-Aree Agricole

Contaminanti	CSR individuale [mg/L]	CSR falda [mg/L]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	CSC D.Lgs 152/06 [mg/L]	CRS in sorgente [mg/L]
Mercurio elementare	3,53E-02	3,53E-02	---	1,00E+00	1,00E-03	7,60E-03
Piombo Tetraetile	2,40E-04	2,40E-04	---	1,00E+00	1,00E-02	2,65E-01
Alifatici C9-C18	7,58E-02	7,58E-02	---	1,00E+00	3,50E-01	3,42E+00
1,1,2-Tricloroetano	7,75E-02	7,75E-02	1,00E-06	8,76E-01	2,00E-04	4,50E-04
1,2-Dicloropropano	4,96E-02	4,96E-02	1,00E-06	7,02E-02	1,50E-04	2,05E-04
1,2-trans-Dicloroetilene	6,51E+00	6,51E+00	---	1,00E+00		1,93E-01
Tetracloroetilene (PCE)	5,14E-01	5,14E-01	1,00E-06	2,70E-01	1,10E-03	1,95E-01
1,1-Dicloroetilene	3,88E+00	3,88E+00	---	1,00E+00	5,00E-05	2,51E-04
Tricloroetilene	4,20E-02	4,20E-02	1,00E-06	3,41E-01	1,50E-03	1,13E-01
Cloruro di vinile	9,39E-03	9,39E-03	1,00E-06	6,36E-03	5,00E-04	8,35E-03
Triclorometano	1,63E-02	1,63E-02	1,00E-06	1,24E-03	1,50E-04	3,30E-04
p-Xilene	8,78E+00	8,78E+00	---	1,00E+00	1,00E-02	2,22E-01
Toluene	4,01E+02	4,01E+02	---	1,00E+00	1,50E-02	2,10E-02
Etilbenzene	8,65E-02	8,65E-02	1,00E-06	1,12E-03	5,00E-02	9,34E-02
Benzene	2,94E-02	2,94E-02	1,00E-06	1,20E-02	1,00E-03	1,40E-01
MTBE	1,61E+03	1,61E+03	---	1,00E+00		8,30E-02

Nella Tabella 3.11 si riportano le CSR definitive per ciascuna sostanza.

Tabella 3.11 – CSR definitive falda - Caso 2-Aree Agricole

Contaminanti	CSR individuale [mg/L]
Mercurio elementare	3,53E-02
Piombo Tetraetile	2,40E-04
Idrocarburi totali	3,50E-01
1,1,2-Tricloroetano	7,75E-02
1,2-Dicloropropano	4,96E-02
1,2-trans-Dicloroetilene	6,51E+00
Tetracloroetilene (PCE)	5,14E-01
1,1-Dicloroetilene	3,88E+00
Tricloroetilene	4,20E-02
Cloruro di vinile	9,39E-03
Triclorometano	1,63E-02
p-Xilene	8,78E+00
Toluene	4,01E+02
Etilbenzene	8,65E-02
Benzene	2,94E-02
MTBE	1,61E+03

In totale sono stati rilevati n. 16 piezometri su 50 con superamenti rispetto agli obiettivi di bonifica e sono stati rappresentati nella Figura 3.19.

Figura. 3.19 – Superamenti rispetto alle CSR Falda Caso 2- Aree Agricole



3.6.3 Conclusioni Caso 2 – Aree agricole

L’analisi di rischio nello scenario di tipo 2 relativo alle aree agricole ha rilevato un rischio non accettabile per i seguenti contaminanti e per le seguenti vie di esposizione.

➤ Suolo superficiale

- Triclorometano, Idrocarburi alifatici C9-C18, Idrocarburi aromatici C9-C10, PCB Tot, Benzene, Mercurio elementare: inalazione vapori indoor;
- Piombo Tetraetile: ingestione suolo, contatto dermico, inalazione vapori indoor;
- Benzo(a)antracene Benzo(a)pirene Benzo(b)fluorantene Benzo(k)fluorantene, Crisene, Dibenzo(a,e)pirene, Dibenzo(a,i)pirene, Dibenzo(a,l)pirene, Dibenzo(a,h)antracene, PCB dl, Arsenico: ingestione di suolo e contatto dermico.
- Indenopirene: contatto dermico

➤ Suolo profondo

- idrocarburi alifatici C9-C18 e C5-C8, Triclorometano, Mercurio elementare, Benzene e Piombo tetraetile: inalazione vapori indoor

➤ Acque sotterranee

- idrocarburi alifatici C9-C18, Benzene, Etilbenzene, Tricloroetilene, Piombo tetraetile: inalazione vapori indoor;
- Piombo tetraetile: inalazione vapori outdoor.

Anche nel caso 2 è opportuno effettuare alcune considerazioni:

1. dalla data di esecuzione del piano di caratterizzazione sono trascorsi circa 9 anni;
2. mancano analisi di speciazione degli idrocarburi e pertanto tutta la contaminazione è stata associata alla frazione più critica dal punto di vista della presenza di rischio sanitario con conseguente sovrastima dello stesso. In particolare per gli idrocarburi C>12 la frazione MADEP selezionata in via cautelativa è la C9-C18, che comprende anche idrocarburi C<12 che rappresentano l’effettiva frazione volatile;
3. per il Mercurio è stata selezionata, in via cautelativa, la forma che comporta il rischio maggiore per inalazione;
4. gli spazi confinati presenti nelle aree agricole e corrispondenti alle serre sono dotati di numerose aperture;
5. le equazioni utilizzate nell’applicazione dell’analisi di rischio di Livello 2 portano spesso ad una sovrastima del rischio e a una sottostima delle CSR associate al percorso di volatilizzazione;
6. le indagini di caratterizzazione non hanno previsto il prelievo di campioni di suolo e di acque direttamente all’interno delle aree agricole, ma lungo le strade asfaltate adiacenti;

7. nessuna indagine è stata svolta sui prodotti orofrutticoli coltivati in tali aree;
8. é stata approvata la prima fase attuativa del Progetto Definitivo di Bonifica della Falda del SIN di Napoli Orientale;
9. le concentrazioni limite ammissibili per le aree agricole non risultano definite a livello normativo.

4. INDIVIDUAZIONE AREE CRITICHE

A partire dai risultati ottenuti e dalle considerazioni contenute nelle conclusioni per i Casi 1 e 2, sono state svolte attività di sopralluogo nelle zone in corrispondenza dei punti con concentrazioni maggiori delle CSR, con lo scopo di rilevare le reali condizioni sito-specifiche. In particolare, per ognuno dei punti con $C > CSR$, sono state verificate, nel raggio di 30 m, le caratteristiche sito specifiche relative a:

- edifici, utilizzo degli stessi e dei diversi piani (interrato, seminterrato, piano terra e primo piano);
- presenza di aree non pavimentate ed eventuale utilizzo;
- aree destinate all’agricoltura;
- aree ricreative.

Tutte le informazioni, raccolte in apposite schede, sono state utilizzate per la rielaborazione dell’analisi di rischio. Un risultato importante è stata l’esclusione di numerosi punti ritenuti in prima analisi contaminati. Infatti in molti casi in cui il rischio era associato esclusivamente ai percorsi diretti di ingestione e contatto dermico si è constatata la presenza di pavimentazione. In altri casi, invece, sono stati esclusi punti in cui non sono presenti aree residenziali, sociali, ed agricole, ma esclusivamente attività produttive. In altri casi ancora, l’assenza di abitazioni a piano terra ha portato ad un innalzamento delle CSR e a condizioni di accettabilità del rischio.

Le valutazioni effettuate sono servite per l’individuazione di specifiche “aree critiche” in cui eseguire, in una fase successiva, indagini integrative necessarie a:

1. ottenere dati maggiormente rappresentativi della presenza di contaminazione nel raggio di 30 m dal punto investigato, in particolare nelle aree non pavimentate;
2. relativamente alle acque sotterranee, avere un quadro più aggiornato della situazione attuale;
3. ricercare attraverso analisi di speciazione le frazioni idrocarburiche effettivamente presenti ai fini della scelta delle proprietà chimico fisiche e tossicologiche maggiormente appropriate;
4. verificare la presenza effettiva di Mercurio elementare in corrispondenza dei superamenti rilevati;
5. avviare indagini e/o monitoraggi nelle aree utilizzate a scopi agricoli;
6. verificare i risultati ottenuti con l’applicazione modellistica attraverso misure dei vapori provenienti dai suoli (misure di soil gas, camere di flusso, campionamenti dell’aria indoor e outdoor) per la valutazione dell’efficacia – efficienza delle eventuali misure di prevenzione e mitigazione e degli eventuali interventi di bonifica da attuare.

Nelle figure seguenti sono evidenziate le suddette aree critiche (i punti ed i percorsi di esposizione associati per i quali risulta confermato un rischio non accettabile). Per la maggior parte dei punti risulta

un rischio per inalazione indoor, mentre in pochi casi si presenta anche il rischio di inalazione outdoor. Per le aree non pavimentate si rileva un rischio di ingestione e contatto dermico non accettabile per n. 34 punti.

In figura 4.5 sono state invece rappresentate le aree a verde utilizzate a scopi agricoli o incolte ma potenzialmente coltivabili, in cui, per i Casi 1 e 2 è risultato un rischio sanitario non accettabile. Per tali aree, così come per tutte le aree altre della stessa tipologia, per cui non è risultato rischio sanitario o non ricomprese nel presente studio, può essere utile prevedere indagini specifiche rispetto alla destinazione d’uso prevista e all’utilizzo effettivo.

In allegato 14 si riportano i risultati ottenuti, specificando, per ogni sondaggio, oltre al percorso di esposizione anche le sostanze che danno rischio non accettabile ed il bersaglio associato.

Tali risultati costituiscono il punto di partenza per la scelta delle più appropriate modalità operative da adottarsi e per la definizione delle eventuali indagini integrative necessarie a stabilire l’effettiva presenza di un rischio sanitario.

Figura. 4.2 – Rischio inalazione indoor



Figura. 4.3 – Rischio inalazione outdoor
(errata corregge il punto S012 viene corretto in P12)



Figura. 4.4 – Rischio ingestione e contatto dermico



Figura. 4.5 – Aree agricole e incolte da verificare



5. BIBLIOGRAFIA

- "Criteri metodologici l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati"; APAT ISPRA 2008;
- Documento di riferimento per la determinazione e la validazione dei parametri sito-specifici utilizzati nell'applicazione dell'analisi di rischio ai sensi del D.lgs. 152/06 elaborati da APAT-ARPA-ISS-ISPES;
- Documento di supporto alla Banca dati ISS-INAIL (Marzo 2015);
- Linee guida sull'analisi di Rischio ai sensi del D.lgs. 152/2006 (Novembre 2014).

Per l'elaborazione dell'analisi di rischio è stato fatto riferimento ai seguenti documenti progettuali:

- Piano di Caratterizzazione delle Aree Residenziali, Sociali ed Agricole (RSA), redatto da ARPAC – ex Centro Regionale Siti Contaminati (CRSC) ai sensi del Decreto Ministeriale n. 471 del 25 ottobre 1999 (D.M. 471/99).
- Integrazione al Piano della Caratterizzazione ai sensi del D.M. 471/99 redatto da ARPAC in risposta alle prescrizioni formulate nel corso della Conferenza di Servizi decisoria del 11 ottobre 2005;
- Il Rapporto Tecnico Conclusivo delle Indagini di Caratterizzazione Ambientale, redatto dall'A.T.I. costituita da Tecnimont S.p.A.– So.ge.sa S.r.l. – Natura S.r.l.– Cada S.n.c. , approvato in sede di Conferenza di Servizi decisoria del 26/02/09.