



Agenzia Regionale Protezione Ambientale Campania



**Analisi di Rischio sito specifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 del sito
Aree Pubbliche Bagnoli - Coroglio
Comune di Napoli (NA)
SIN "Bagnoli - Coroglio"**

Novembre 2015

INDICE

1. INTRODUZIONE	7
1.1 Premessa	7
2. DESCRIZIONE DELLE AREE PUBBLICHE BAGNOLI-COROGLIO	8
2.1 Progetto Aree Pubbliche Bagnoli-Coroglio.....	8
2.2 Descrizione delle Indagini ambientali	11
2.3 Indagini indirette.....	12
2.4 Indagini dirette.....	12
2.5 Ricostruzione geologica del sito	14
2.6 Ricostruzione idrogeologica del sito.....	16
3. DEFINIZIONE ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA.....	17
3.1 Rischio: definizione e accettabilità	18
3.2 Analisi di Rischio Sito Specifica Aree Pubbliche Bagnoli-Coroglio – Sub Aree.....	20
3.3 Parametri di input Analisi di Rischio.....	22
3.4 Parametri meteo climatici.....	24
4. SUB AREA 1	28
4.1 Indagini dirette.....	29
4.2 Risultati analisi chimiche.....	30
4.3 Parametri Sito Specifici	37
4.3.1 Parametri di idrogeologia locale.....	37
4.3.2 Granulometria/tessitura del suolo	37
4.3.3 Parametri degli edifici	44
4.4 Modello concettuale sito specifico e risultati.....	45
4.5 Conclusioni	59
5. SUB AREA 2	62
5.1 Indagini dirette.....	63
5.2 Risultati analisi chimiche.....	64
5.3 Parametri Sito Specifici	70
5.3.1 Parametri di idrogeologia locale.....	70
5.3.2 Granulometria/tessitura del suolo	70
5.4 Modello concettuale sito specifico e risultati.....	78
5.5 Conclusioni	86
6. SUB AREA 3	89
6.1 Indagini dirette.....	90
6.2 Risultati analisi chimiche.....	92
6.3 Parametri Sito Specifici	94
6.3.1 Parametri di idrogeologia locale.....	94
6.3.2 Granulometria/tessitura del suolo	95
6.4 Modello concettuale sito specifico e risultati.....	99
6.5 Conclusioni	108
7. SUB AREA 4	111
7.1 Indagini dirette.....	111
7.2 Risultati analisi chimiche.....	113

7.3	<i>Parametri Sito Specifici</i>	116
7.3.1	Parametri di idrogeologia locale	116
7.3.2	Granulometria/tessitura del suolo	116
7.4	<i>Modello concettuale sito specifico e risultati</i>	117
7.5	<i>Conclusioni</i>	121
8.	SUB AREA 5	123
8.1	<i>Indagini dirette</i>	124
8.2	<i>Risultati analisi chimiche</i>	126
8.3	<i>Parametri Sito Specifici</i>	131
8.3.1	Parametri di idrogeologia locale	131
8.3.2	Granulometria/tessitura del suolo	131
8.4	<i>Modello concettuale sito specifico e risultati</i>	136
8.5	<i>Conclusioni</i>	151
9.	SUB AREA 6	155
9.1	<i>Indagini dirette</i>	156
9.2	<i>Risultati analisi chimiche</i>	157
9.3	<i>Parametri Sito Specifici</i>	161
9.3.1	Parametri di idrogeologia locale	161
9.3.2	Granulometria/tessitura del suolo	161
9.4	<i>Modello concettuale sito specifico e risultati</i>	163
9.5	<i>Conclusioni</i>	171
10.	FALDA INTERO SITO	174
10.1	<i>Indagini dirette</i>	174
10.2	<i>Risultati analisi chimiche</i>	176
10.3	<i>Parametri Sito Specifici</i>	184
10.3.1	Parametri di idrogeologia locale	184
10.3.2	Granulometria/tessitura del suolo	185
10.4	<i>Modello concettuale sito specifico e risultati</i>	199
10.5	<i>Conclusioni</i>	203
11.	BIBLIOGRAFIA	204

ALLEGATI

- Allegato 1 – Convenzione;
- Allegato 2 - Inquadramento territoriale;
- Allegato 3 – Perimetrazione ambiti;
- Allegato 4 - Bonifica Ordigni Bellici;
- Allegato 5 – Piano d’Indagine;
- Allegato 6 - Risultati analisi chimiche;
- Allegato 7 - Validazioni e rapporti di prova ARPAC;
- Allegato 8 - Risultati analisi chimiche validati da ARPAC;
- Allegato 9 – Carta geologica;
- Allegato 10 - Stratigrafie;
- Allegato 11 – Carta idrogeologica;
- Allegato 12 - Isofreatiche;
- Allegato 13 – Rilievi falda;
- Allegato 14 – Dati meteo climatici;
- Allegato 15 - Variante al PRG del Comune di Napoli per l'area occidentale, variante al PRG del 2004.

FIGURE

Fig. n. 1 – Perimetro delle sub aree;

Fig. n. 2 - Valori velocità medie annue del vento – Periodo 1968/1998;

Fig. n. 3 - Diagramma della frequenza del vento annuale per intensità e direzione di provenienza, espresso in %;

Fig. n. 4 - Valori precipitazioni cumulate annue – Periodo 1958/2012;

Sub area 1

Fig. n. 5 – Perimetro della sub area 1 e Piano di indagine;

Fig. n. 6 - Valori dell’Indice di Pericolo SS;

Fig. n. 7 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SS;

Fig. n. 8 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS;

Fig. n. 9 - Valori dell’Indice di Pericolo SP;

Fig. n. 10 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SP;

Fig. n. 11 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SP;

Fig. n. 12 - Valori dell’Indice di Pericolo SS;

Fig. n. 13 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SS;

Fig. n. 14 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS;

Fig. n. 15 - Valori dell’Indice di Pericolo SP;

Fig. n. 16 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SP;

Fig. n. 17 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SP;

Fig. n. 18 - Valori Rischio SS;

Fig. n. 19 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SS;

Fig. n. 20 – Rischio cumulato SS;

Fig. n. 21 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS;

Sub area 2

Fig. n. 22 – Perimetro della sub area 2 e Piano di indagine;

Fig. n. 23 - Valori Rischio SS;

Fig. n. 24 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SS;

Fig. n. 25 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS;

Fig. n. 26 - Valori dell’Indice di Pericolo SP;

Fig. n. 27 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SP;

Fig. n. 28 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SP;

Fig. n. 29 - Valori Rischio SS;

Fig. n. 30 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SS;

Fig. n. 31 – Rischio cumulato SS;

Fig. n. 32 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS;

Sub area 3

Fig. n. 33 – Perimetro della sub area 3 e Piano di indagine;

Fig. n. 34 - Valori Rischio SS;

Fig. n. 35 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SS;

Fig. n. 36 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS;

Fig. n. 37 - Valori dell’Indice di Pericolo SP;

Fig. n. 38 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SP;

Fig. n. 39 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SP;

Fig. n. 40 - Valori Rischio SS;

Fig. n. 41 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SS;

Fig. n. 42 – Rischio cumulato SS;

Fig. n. 43 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS;

Sub area 4

- Fig. n. 44 – Perimetro della sub area 4 e Piano di indagine;
- Fig. n. 45 - Valori Rischio SS;
- Fig. n. 46 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SS;
- Fig. n. 47 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS;
- Fig. n. 48 - Valori dell’Indice di Pericolo SP;
- Fig. n. 49 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SP;
- Fig. n. 50 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SP;

Sub area 5

- Fig. n. 51 – Perimetro della sub area 5 e Piano di indagine;
- Fig. n. 52 - Valori Rischio SS;
- Fig. n. 53 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SS;
- Fig. n. 54 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS;
- Fig. n. 55 - Valori dell’Indice di Pericolo SP;
- Fig. n. 56 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SP;
- Fig. n. 57 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SP;
- Fig. n. 58 - Valori Rischio SS;
- Fig. n. 59 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SS;
- Fig. n. 60 – Rischio cumulato SS;
- Fig. n. 61 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS;
- Fig. n. 62 - Valori Rischio SS;
- Fig. n. 63 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SS;
- Fig. n. 64 – Rischio cumulato SS;
- Fig. n. 65 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS;
- Fig. n. 66 - Valori dell’Indice di Pericolo SP;
- Fig. n. 67 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SP;
- Fig. n. 68 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SP;

Sub area 6

- Fig. n. 69 – Perimetro della sub area 6 e Piano di indagine;
- Fig. n. 70 - Valori Rischio SS;
- Fig. n. 71 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SS;
- Fig. n. 72 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS;
- Fig. n. 73 - Valori dell’Indice di Pericolo SP;
- Fig. n. 74 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SP;
- Fig. n. 75 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SP;
- Fig. n. 76 - Valori Rischio SS;
- Fig. n. 77 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SS;
- Fig. n. 78 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS;
- Fig. n. 79 - Valori dell’Indice di Pericolo SP;
- Fig. n. 80 - Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) SP;

Falda

- Fig. n. 81 – Perimetro del sito e Piano di indagine;
- Fig. n. 82 – Valori Rischio falda;
- Fig. n. 83 – Concentrazioni Soglia di Rischio falda;
- Fig. n. 84 – Rischio cumulato falda;
- Fig. n. 85 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica falda.

TABELLE

Tab. n. 1 – Sondaggi eseguiti;

Tab. n. 2 – Parametri sito specifici;

Tab. n. 3 - Percentuali delle frequenze dell'intensità del vento, per l'elaborazione diagramma anemometrico;

Sub area 1

Tab. n. 4 - Superamenti Suoli sub area 1;

Tab. n. 5 - Valori di soggiacenza falda;

Tab. n. 6 - Parametri sito specifici;

Tab. n. 7 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SS;

Tab. n. 8 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SP;

Tab. n. 9 – Obiettivi di Bonifica SP;

Tab. n. 10 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SS;

Tab. n. 11 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SP;

Tab. n. 12 – Obiettivi di Bonifica SP;

Tab. n. 13 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SS;

Tab. n. 14 – Obiettivi di Bonifica SS;

Sub area 2

Tab. n. 15 - Superamenti Suoli sub area 2;

Tab. n. 16 - Valori di soggiacenza falda;

Tab. n. 17 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SS;

Tab. n. 18 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SP;

Tab. n. 19 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SS;

Tab. n. 20 – Obiettivi di Bonifica SS;

Sub area 3

Tab. n. 21 - Superamenti Suoli sub area 3;

Tab. n. 22 - Valori di soggiacenza falda;

Tab. n. 23 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SS;

Tab. n. 24 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SP;

Tab. n. 25 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SS;

Tab. n. 26 – Obiettivi di Bonifica SS;

Sub area 4

Tab. n. 27 - Superamenti Suoli sub area 4;

Tab. n. 28 - Valori di soggiacenza falda;

Tab. n. 29 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SS;

Tab. n. 30 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SP;

Sub area 5

Tab. n. 31 - Superamenti Suoli sub area 5;

Tab. n. 32 - Valori di soggiacenza falda;

Tab. n. 33 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SS;

Tab. n. 34 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SP;

Tab. n. 35 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SS;

Tab. n. 36 – Obiettivi di Bonifica SS;

Tab. n. 37 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SS;

Tab. n. 38 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SP;

Tab. n. 39 – Obiettivi di Bonifica SS;





Sub area 6

- Tab. n. 40 - Superamenti Suoli sub area 6;
- Tab. n. 41 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SS;
- Tab. n. 42 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SP;
- Tab. n. 43 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SS;
- Tab. n. 44 - Concentrazioni rappresentative della sorgente SP.

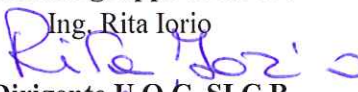
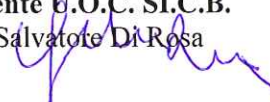
Falda

- Tab. n. 45 - Superamenti Acque;
- Tab. n. 46 - Valori di soggiacenza falda;
- Tab. n. 47 - Concentrazioni rappresentative della sorgente falda.

Gruppo di lavoro

Ing. Raimondo Romano 
Dott. Geol. Luigi Montanino 
Ing. Valentina Sammartino Calabrese 
Dott. Geol. Gianluca Ragone 

Referente gruppo di lavoro

Ing. Rita Iorio 
Il Dirigente E.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 Pubbliche Bagnoli-Coroglio. Esso è stato redatto da ARPAC in relazione alla convenzione di servizi stipulata con la Regione Campania, prot. 2015. 0765794 del 10/11/2015 (Allegato 1), 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".

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 nelle aree pubbliche di Bagnoli – Coroglio.

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 PUBBLICHE BAGNOLI-COROGLIO

2.1 Progetto Aree Pubbliche Bagnoli-Coroglio

Le aree pubbliche oggetto di studio ricadevano nell’ambito del Sito di Interesse Nazionale “Bagnoli-Coroglio” (Allegato 2), identificato con la legge n. 388 del 2000 e successivamente perimetrato con D.M. in data 31 agosto 2001. In seguito alla proposta di riperimetrazione contenuta nelle deliberazioni di giunta regionale n. 514 del 25 novembre 2013 e n. 52 del 28 febbraio 2014, approvata in sede di conferenza di servizi del MATTM in data 30 giugno 2014, le stesse venivano escluse dal perimetro del SIN.

Nel piano di caratterizzazione redatto da “Bagnoli Futura” il sito, dove rientrano tali aree, è stato suddiviso nei seguenti “ambiti”:

- Agnano: ha una superficie di 4.108.538 mq. e comprende circa la metà della conca di Agnano che per la restante parte ricade nel territorio di Pozzuoli. L'edilizia esistente è in buona misura dovuta all'edificazione abusiva che infesta il versante settentrionale della conca. Per il resto vi sono interessanti tipologie agricole, come la casa a corte chiusa, tipica dei casali che costellavano il territorio dell'entroterra agricolo. Dall'analisi delle distribuzioni delle superfici si evidenzia che le aree residenziali occupano una parte limitata della superficie totale (8,0%). All'incirca metà dell'ambito è infatti caratterizzata dai versanti boschivi del cratere di Agnano e di Monte Spina, e da estese coltivazioni agricole, terrazzate sui versanti e pianeggianti all'interno della conca; per cui la percentuale di verde in tale ambito è pari al 48,4 %. C'è da sottolineare peraltro che anche tra le aree definite pubbliche (Ippodromo) o private (Terme, Hotel Monte Spina, ecc.) la percentuale di verde è preponderante. Le aree produttive sono ubicate esclusivamente a Nord dell'Ippodromo di Agnano ed a cavallo dell'asse viario della Tangenziale (2,5 %). Le attività prevalenti riguardano il settore nautico (officine, vendita, assistenza e rimessaggio), ma non mancano attività terziarie di altro genere, quali officine meccaniche, carrozzerie, autodemolizioni, ecc. Per la presenza dell'Ippodromo risultano diffuse le strutture ad esso connesse quali i circoli ippici, scuole di equitazione, scuderie, ecc. L'unica area militare presente è anch'essa legata al mondo dell'equitazione (Centro Militare R.F.C.R., 17.932 mq.) ed è ubicata di fronte all'ingresso principale delle Terme di Agnano. Scarsissima la presenza di verde pubblico (0,2 %).
- Pisciarelli: ha superficie pari a 757.586 mq., pur facendo parte morfologicamente della conca di Agnano, presenta caratteristiche diverse. L'ambito, che si sviluppa lungo le due strade che l'attraversano, via Scarfoglio e via Pisciarelli, ha un impianto caotico e casuale ottenuto per aggregazioni successive e per riempimento di aree. Questo assetto prosegue oltre il limite amministrativo, nel comune di Pozzuoli, tanto che alcuni edifici o capannoni si trovano a cavallo del confine. L'area ha destinazione prevalentemente industriale e commerciale. Depositi, piccole industrie

o attività artigiane, centri commerciali legati alla vendita delle auto e delle imbarcazioni sono ubicati nella parte più vicina alla tangenziale. Dall’analisi delle distribuzioni delle superfici si evidenzia che le aree residenziali occupano il 14,1 % della superficie totale. All’incirca un terzo dell’ambito è caratterizzato dai versanti boschivi del cratere di Agnano, e da estese coltivazioni agricole, terrazzate sui versanti e pianeggianti all’interno della conca; la percentuale di verde in tale ambito è pari al 29,5 %. Le aree produttive costituiscono il 32,0 % del territorio e sono ubicate in maniera caotica e disordinata e promiscuamente alle zone residenziali (in alcuni casi abusive). Le attività prevalenti riguardano il settore nautico (officine, vendita, assistenza e rimessaggio), ma non mancano attività terziarie di altro genere, quali officine meccaniche, carrozzerie, autodemolizioni, ect. L’unica area militare presente è il sito di supporto degli insediamenti Nato presenti in regione (Nato NSA – 34.374 mq.) ed è ubicata in via Scarfoglio. Scarsissima la presenza di verde pubblico (0,7 %).

- Nato: ha una superficie pari a 592.744 mq., ed include l'area dell'ex collegio Costanzo Ciano, attuale sede della Nato, e i lotti compresi tra quest'area e la Mostra d'Oltremare. Dall’analisi delle distribuzioni delle superfici si evince che le aree residenziali occupano una piccolissima parte della superficie totale (1,1 %); un terzo dell’ambito è infatti occupato dalle strutture militari della base AFSOUTH – NATO (33,3 %), occupante una superficie di 197.519 mq.; all’incirca un altro terzo è occupato da aree ad uso agricolo mentre risultano assenti aree produttive e mercati; le aree sociali (chiese, scuole, enti ad uso pubblico ed ASL) costituiscono il 4,2 % del territorio. Scarsissima la presenza di verde pubblico (0,3 %).
- Diocleziano: ha una superficie pari a 199.949 mq.; ha una configurazione allungata il cui limite sud è definito dalla linea FS e quello nord dalle vie della Liberazione, Beccadelli e Kennedy. All'interno si possono individuare due aree con caratteristiche diverse. La prima di edilizia residenziale di recente edificazione, in prevalenza privata, con cospicua presenza commerciale e strutture per l'istruzione; la seconda, quella attraversata dalla via Diocleziano, è di impianto più vecchio, con alcuni edifici di discreto interesse architettonico a prevalente destinazione residenziale. L'area è servita dalla linea di mezzi pubblici dell'ANM, che l'attraversa per tutta la sua lunghezza, da due stazioni della linea Cumana e da due stazioni FS. Per quanto riguarda la viabilità, l'ambito risulta integrato nel sistema viario esistente a nord della linea FS. Dall’analisi delle distribuzioni delle superfici si evince che le aree residenziali occupano il 44,7 % della superficie totale; le aree produttive/mercati ammontano al 2,9 %, le aree sociali (chiese, scuole, enti ad uso pubblico ed ASL) costituiscono il 10,4 % del territorio, mentre non sono presenti aree militari, pubbliche o private di particolare interesse. Scarsissima la presenza di verde pubblico (0,8 %) e di aree ad uso agricolo (3,7 %). Buona parte del territorio (37,4 %) è asservita alla viabilità stradale e ferroviaria.

- Bagnoli: è definito a sud-ovest dalla spiaggia, a sud-est dalla strada di Via Nuova Bagnoli e dal muro di cinta dell'area ex ILVA, a nord dal fascio dei binari FS-Metropolitana. L'ambito è esposto a sud e a brevissima distanza dal mare. Rispetto all'asse principale nord sud di Via Campi Flegrei c'è un dislivello di circa 30 m che determina una buona esposizione di tutti gli isolati. I collegamenti ai quartieri centrali e alla zona flegrea sono buoni grazie alle linee su ferro. Nell'area ricadono una stazione della linea metropolitana FS e due della Cumana. Le strade ferrate penalizzano, al tempo stesso, non poco il quartiere costringendolo all'interno di barriere che rendono difficili anche gli spostamenti pedonali. L'ambito ha destinazione prevalentemente residenziale con una piccola quota di edilizia pubblica pari circa al 0,7% del totale, insufficiente la presenza di attrezzature per l'istruzione, quasi inesistenti gli spazi destinati al verde ed al tempo libero. La parte più antica del quartiere è quella centrale. Il patrimonio edilizio risulta diffusamente manomesso e degradato pur presentando riconoscibili tipologie dell'inizio del secolo. Gli isolati sono per lo più caratterizzati da tipologie a villino, mono o plurifamiliare, che originariamente presentavano ampi giardini privati conferendo al quartiere una forte valenza residenziale. L'ambito Bagnoli occupa una superficie totale pari a 591.424 mq., suddivisa in aree private, pubbliche, aree residenziali, sedi stradali e ferroviarie, aree agricole, aree adibite produttive/mercati ed infine aree adibite a verde pubblico. Dall'analisi delle distribuzioni delle superfici è confermato il carattere per lo più residenziale dell'ambito Bagnoli (61,9 %), con la totale assenza di aree produttive/mercati. Le aree sociali (chiese, scuole, enti ad uso pubblico ed ASL) costituiscono il 5 % del territorio, mentre non sono presenti aree militari. Scarsissima la presenza di verde pubblico (1,5 %) ed aree ad uso agricolo (0,6 %).
- Cavalleggeri: ha una superficie pari a 474.074 mq., è compreso tra via Campegna a est, gli impianti sportivi del Cus, il Poligono e l'Arsenale Militare a sud, mentre a nord è definito dal fascio dei binari e dalla omonima stazione FS. L'area è quasi per intero occupata da insediamenti abitativi (circa il 70%), per lo più pubblici e di impianto recente. La via Cavalleggeri d'Aosta, divide l'ambito in due parti e, al contempo, separa due diverse tipologie abitative. A est palazzine semintensive di due o tre piani con strade alberate e ampi spazi privati a verde; a ovest edifici più alti, con cinque o sei piani, nella totale mancanza di spazi verdi. La chiusura degli impianti industriali ha migliorato non poco le condizioni ambientali dell'area. Le condizioni generali dell'ambiente urbano, a partire dalle strade, dai marciapiedi e dagli spazi pubblici risultano assai degradate. Dall'analisi delle distribuzioni delle superfici è confermato il carattere fortemente residenziale dell'ambito Cavalleggeri (68,4 %), con la quasi totale assenza di aree produttive/mercati ad eccezione di un mercato rionale di Via Ilioneo (1,3 %). Le aree sociali (chiese, scuole, enti ad uso pubblico ed ASL) costituiscono il 7,1 % del territorio, mentre è presente un'area militare (parte dell'Arsenale militare). Scarsissima la presenza di verde pubblico (0,5 %) ed aree ad uso agricolo (0,2 %).

- Coroglio: ha una superficie pari a 3.224.644 mq., è definito a sud e sud-est dal costone della collina di Posillipo e dall'isola di Nisida, a nord dal fascio dei binari FS e dalla via Nuova Bagnoli, a sud-ovest dal mare. L'ambito è attualmente costituito in massima parte da aree industriali dismesse tra cui le già caratterizzate ed in parte bonificate ILVA ed Eternit con superficie totale 2.102.000 mq. I pochi fabbricati residenziali, per altro molto degradati, sono distribuiti lungo i margini dell'insediamento industriale e lungo via Pozzuoli, dove un piccolo e fatiscente agglomerato di case si sviluppa fin sulla spiaggia. Nell'ambito ricadono anche piccole aree con residenze operaie. Dall'analisi delle distribuzioni delle superfici si evince che le aree residenziali occupano una porzione limitatissima della superficie totale (3 %); assenti le aree produttive/mercati; le aree sociali (chiese, scuole, enti ad uso pubblico ed ASL) costituiscono l'1,9 % del territorio. Non si rilevano aree a verde pubblico e aree ad uso agricolo. Ciò premesso, risulta evidente che gran parte del territorio (80,5 %) è occupato da aree private e militari.

In conclusione le caratteristiche prevalenti degli ambiti, di cui all'allegato 3, sono quelle di seguito indicate:

- residenziale negli ambiti Bagnoli, Cavalleggeri e Diocleziano;
- industriale - commerciale nell'ambito Pisciarelli;
- agricolo – residenziale - ricreativo nell'ambito Agnano;
- gli ambiti Nato e Coroglio sono sede di strutture militari ed aree industriali dismesse.

In sede d'intervento per ciascuno degli 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 Bagnoli - Coroglio 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 eseguito dal Raggruppamento Temporaneo di Imprese (R.T.I.) costituito da URS Italia, SGS Italia e Geodynamic, un piano delle indagini mirato all'investigazione dei suoli e delle acque di falda (Progetto SIN1 Servizi di caratterizzazione di aree potenzialmente inquinate in siti di interesse nazionale della Regione Campania: Bagnoli-Coroglio, Napoli Orientale, Litorale Domizio-Flegreo e Agro Aversano - Componente 1 - Aree pubbliche del SIN “Bagnoli-Coroglio”, Settembre 2008), il cui Rapporto Tecnico Conclusivo è stato approvato dal MATTM in sede di Conferenza di Servizi decisoria del 26/02/09.

2.2 *Descrizione delle Indagini ambientali*

Il Piano della caratterizzazione del sito, redatto da Bagnoli Futura S.p.A. nel marzo 2003 ed approvato dal MATTM in sede di Conferenza dei Servizi decisoria del 20 giugno 2003, ha comportato l'esecuzione di:

- Indagini di tipo indiretto, ossia non invasive delle zone indagate (indagini magnetometriche/georadar) 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, ossia indagini che prevedono un intervento di carattere meccanico sulla matrice ambientale da investigare (terreni/acque, mediante escavazione, carotaggio, prelievo di campioni, ecc.).

2.3 Indagini indirette

Al fine di una corretta ubicazione dei punti di sondaggio ambientale, di individuare la possibile presenza di sottoservizi interrati in corrispondenza dei punti di indagine, è stato eseguito un rilievo magnetometrico/georadar, realizzando profili tra loro perpendicolari, a partire da ciascun punto di indagine considerato, per un intorno di 30 m da esso. L’acquisizione dei dati di campo, è avvenuta mediante il trascinamento di un’antenna georadar a media alta risoluzione.

Prima di realizzare la caratterizzazione, l’area in esame è stata oggetto di una campagna di ricerca di ordigni bellici residuati, effettuata in corrispondenza dei punti di indagine, per confermare definitivamente l’assenza di interferenze con i sottoservizi.

I risultati della campagna di ricerca e la relativa documentazione sono stati riportati nell’allegato 4.

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

Nell’ambito dell’area in esame le attività hanno riguardato la realizzazione di n. 141 sondaggi geognostici con tecnica a carotaggio continuo, di cui n. 40 completati a pozzi di monitoraggio della falda (Allegato 5) distinti a seguire in funzione dell’ambito e della profondità e riportati nella tabella n.1:

Tab. n. 1 – Sondaggi eseguiti

Ambito	N° carotaggi	Profondità carotaggi, m	N° piezometri superficiali	Profondità piezometri superficiali (m)	N° piezometri profondi	Profondità piezometri profondi (m)
AGNANO	32	4	3	10	3	50
PISCIARELLI	7	4	3	10	1	50
NATO	6	15	4	20	0	n.a.
DIOCLEZIANO	8	15	1	21	2	45
BAGNOLI	19	15	5	21	1	45
CAVALLEGGERI	16	15	3	21	1	45
COROGGIO	13	15	9	21	1	45
ESTERNI	0	n.a.	3	22	0	n.a.
TOTALE	101		31		9	

Nel corso dell'indagine ambientale è stato effettuato, il prelievo di campioni di terreno ed di acque sotterranee, secondo quanto previsto dall'ex D.M. 471/99, successivamente sottoposti ad analisi chimiche di laboratorio per la ricerca degli analiti elencati nel relativo Piano della Caratterizzazione.

Per i suoli sono stati considerati i seguenti analiti:

Metalli: Arsenico, Berillio, Cadmio, Cobalto, Cromo totale, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Stagno, Vanadio, Zinco;

Policiclici Aromatici: Benzo(a)antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Benzo(g,h,i)perilene, 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;

Fitofarmaci: Alaclor, Aldrin, Atrazina;

Diossine e Furani: Sommatoria PCDD, PCDF;

PCB totali come sommatoria dei seguenti singoli congeneri: 28 31 52 77 81 101 105 114 118 123 126 128 138 153 156 157 167 169 170 180 189;

Idrocarburi: Idrocarburi leggeri $C \leq 12$, Idrocarburi pesanti $C > 12$;

Altre Sostanze: Amianto totale.

Per le acque sotterranee sono stati considerati i seguenti analiti:

Metalli ed Altri Inorganici: Alluminio, Antimonio, Argento, Arsenico, Berillio, Cadmio, Cobalto, Cromo Totale, Cromo VI, Ferro, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Selenio, Manganese, Tallio, Zinco, 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,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;

Alifatici Clorurati non Cancerogeni: 1,1-Dicloroetano, 1,2-Dicloroetilene;

Alifatici Alogenati Cancerogeni: Tribromometano, Dibromoclorometano;

Clorobenzeni: Monoclorobenzene;

Fenoli e Clorofenoli: 2-clorofenolo, 2,4-diclorofenolo, 2,4,6-triclorofenolo, Pentaclorofenolo;

Fitofarmaci: Alaclor, Aldrin, Atrazina, Clordano; **Altre Sostanze:** Idrocarburi totali come n-esano;

PCB totali come sommatoria dei seguenti congeneri: 28 52 77 81 101 118 126 128 138 153 156 169 180.

Da ogni sondaggio sono stati prelevati n. 3 campioni di terreno a varie profondità, altresì sono stati prelevati complessivamente 70 campioni di top soil ad una profondità di 0,0 – 0,15 m., destinati ad analisi di laboratorio per verificare lo stato qualitativo dei terreni dell’area in oggetto.

Per l’investigazione delle acque sotterranee, sono stati prelevati n. 1 campioni d’acqua di falda, uno per ogni sondaggio attrezzato a piezometro.

I risultati delle analisi chimiche eseguite sui campioni di suolo e di sottosuolo hanno evidenziato la presenza di valori di concentrazione superiori rispetto ai limiti ammissibili della Tabella 1, colonna A dell’ Allegato 5, Titolo V, Parte IV del D. Lgs.152/06, per una destinazione d’uso verde pubblico privato e residenziale dell’area ed una contaminazione diffusa da Arsenico, Mercurio, Idrocarburi pesanti C>12 ed IPA.

I risultati delle analisi chimiche eseguite sui campioni di acque di falda, hanno invece evidenziato la presenza di valori di concentrazione superiori rispetto ai limiti ammissibili riportati in Tabella 2 dell’ Allegato 5, Titolo V, Parte IV del D. Lgs.152/06 ed una contaminazione diffusa, da Idrocarburi totali come n-esano ed IPA.

In allegato 6 vengono riportati i rapporti di prova delle analisi effettuate dalla ditta esecutrice della caratterizzazione; in allegato 7 viene riportato il documento di validazione da parte di ARPAC ed i rapporti di prova delle analisi eseguite; in allegato 8, infine, vengono riportate le tabelle riassuntive con tutti i risultati validati, comprensivi dei superamenti.

2.5 Ricostruzione geologica del sito

L’assetto geologico – stratigrafico del sito, di cui agli allegati 9 e 10, può essere suddiviso in tre macroaree:

1. Bagnoli e area ex-ILVA;
2. piana di Fuorigrotta – Cavalleggeri;
3. conca di Agnano.

Nel sottosuolo di Bagnoli e dell’area ex-ILVA è riconoscibile la seguente successione stratigrafica, dall’alto verso il basso:

- materiali di riporto spessi in media 4 m, connessi alla costruzione degli stabilimenti industriali ed alle lavorazioni in essi effettuate;
- depositi palustri costituiti da limi e livelli torbosi, con spessore dell'ordine dei 5 m;
- sabbie e limi marini e di spiaggia, di spessore variabile tra 5 e 8 m;
- depositi vulcanici ascrivibili all'eruzione del Monte Spina, di spessore 20-30 m;
- sabbie marine e costiere, spesse tra 20 e 70 m;
- depositi vulcanici dell'attività eruttiva di Agnano, di spessore indeterminato.

Il sottosuolo della piana di Fuorigrotta-Cavalleggeri è caratterizzato, in area ex-industriale, da un primo livello di riporto spesso in media 4 m, connesso alla costruzione degli stabilimenti industriali ed alle lavorazioni in essi effettuate. Successivamente si distinguono:

- depositi vulcanici dell'eruzione di Astroni, spessi 10 m;
- depositi vulcanici ascrivibili all'eruzione del Monte Spina, di spessore 20-30 m;
- sabbie e limi di ambiente marino e di spiaggia, di spessore tra 20 e 70 m;
- depositi cineritici e tufi teneri dell'attività eruttiva di Agnano, spessi circa 30 m;
- cineriti di colore grigio appartenenti alla facies semicoerente del Tufo Giallo Napoletano, di spessore indeterminato.

La successione stratigrafica osservabile nella conca di Agnano è rappresentata da:

- depositi vulcanici dell'eruzione di Astroni, spessi 10-30 m;
- depositi vulcanici ascrivibili all'eruzione del Monte Spina, di spessore 25-30 m;
- depositi vulcanici dell'attività eruttiva di Agnano, spessi 10-30 m;
- tufi gialli e sabbie marine, a chiudere la successione.

Dalle successioni stratigrafiche si possono definire i seguenti orizzonti litostratigrafici, a partire dal piano campagna:

- orizzonte A, di chiara definizione ed interpretazione, costituito da materiali di riporto e depositi vulcanici;
- orizzonte B con il “Complesso dei depositi piroclastici rimaneggiati” individuato nello studio idrogeologico del Piano di tutela delle acque dell'Autorità di Bacino Nordoccidentale della Campania;
- orizzonte C con il “Complesso dei depositi piroclastici sciolti dell'area flegrea” individuato nel medesimo studio idrogeologico;
- orizzonti D ed E con il “Complesso dei tufi flegrei (post- Ignimbrite Campana)”, in particolare D è interpretabile come il membro cineritico-scoriaceo-pomiceo ed E come il membro propriamente tufaceo.

2.6 Ricostruzione idrogeologica del sito

I numerosi eventi vulcanici esplosivi che hanno interessato i Campi Flegrei hanno provocato una sovrapposizione di prodotti piroclastici variabili in granulometria, spessore, grado di consolidazione ed estensione laterale. In aggiunta, fenomeni tettonici hanno spostato la linea di costa, causando anche la deposizione di sedimenti, ora continentali, ora di transizione, ora marini, intercalati ai depositi vulcanici. Tale assetto stratigrafico-strutturale, ha influenzato l'idrodinamica sotterranea permettendo l'instaurarsi della tipica circolazione idrica “per falde sovrapposte”, in cui le caratteristiche litologiche, geometriche e meccaniche dei terreni sono tali da determinare un grado di permeabilità variabile e, nel contempo, l'assenza di veri e propri livelli impermeabili, per cui le varie falde sono tra di loro interconnesse.

Nel sito in esame sono riconoscibili i seguenti complessi idrogeologici (Allegato 11):

- Complesso delle piroclastiti e dei detriti alluvionali incoerenti – rappresenta le formazioni più recenti rilevate nel sottosuolo ed è permeabile per porosità, con grado variabile da medio a basso per la presenza di un'abbondante matrice cineritica;
- Complesso delle lave e delle scorie – scarsamente presente in affioramento, ad elevata permeabilità, sia per fessurazione (lave) sia per porosità (scorie);
- Complesso dei tufi – presente a notevoli profondità in seguito al ribassamento a gradinata post-calderico, costituito dalle formazioni dell'Ignimbrite Campana e del Tufo Giallo Napoletano, permeabile per porosità nei prodotti incoerenti e per fessurazione in quelli coerenti, con un grado di permeabilità mediamente più alto nei primi che non nei secondi.

Il quadro idrogeologico ricostruito indica che nel sito in esame la falda acquifera è:

- prossima al piano campagna, a profondità compresa tra -1.5 e -4 m, nell'area litorale di Bagnoli e nell'area ex-ILVA;
- variabile tra -5 e -15 m dal p.c. nella piana di Fuorigrotta-Cavalleggeri;
- variabile tra -5 e -25 m dal p.c. nella conca di Agnano, più profonda dove la quote topografiche crescono.

La circolazione idrica sotterranea è diretta verso mare, con andamento da N a S nel settore meridionale dei Campi Flegrei e da ENE a WSW nel settore occidentale.

L'acquifero intercettato è posto a profondità medie comprese tra i 1,75 e i 39,10 m. dal piano campagna, valori di soggiacenza definiti in base all'elaborazione dei dati contenuti negli allegati 12 e 13.

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 (livello 3)

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 Based 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 \Rightarrow **Trasporto** \Rightarrow **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:** vengono distinte in base alla sorgente di contaminazione. Per il suolo superficiale si considerano l'ingestione di suolo, il contatto dermico, la volatilizzazione, l'inalazione di 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 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 bersagli sono adulti e bambini base alla destinazione d'uso del suolo contaminato, ovvero per aree residenziali/verde pubblico i 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 Nuovo 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 Aree Pubbliche Bagnoli-Coroglio – Sub Aree*

Ai fini dell’elaborazione dell’analisi di rischio per la valutazione del rischio sanitario per i recettori presenti nelle aree residenziali sociali ed agricole di Bagnoli Coroglio, queste ultime sono state suddivise in n. 6 sub aree sulla base di criteri che hanno tenuto conto di:

- delimitazione degli ambiti;
- distribuzione dei sondaggi di caratterizzazione;
- presenza di aree densamente abitate;
- destinazione d’uso;
- caratteristiche morfologiche.

Le sub aree individuate sono:

- sub area 1, che comprende l’intero ambito Bagnoli più un’ulteriore porzione adiacente;
- sub area 2, corrispondente all’ambito Cavalleggeri e all’area del CUS (centro universitario sportivo);
- sub area 3, che ingloba l’ambito Diocleziano e parte dell’ambito NATO;
- sub area 4, ubicata al margine sud dell’ambito Coroglio;
- sub area 5, ubicata nella parte centrale dell’ambito di Agnano in corrispondenza dell’ippodromo e comprendente anche una porzione dell’ambito Pisciarelli;
- sub area 6, ubicata al margine nord dell’ambito di Agnano.

Le aree rimanenti, appartenenti ai vari ambiti, non sono state inserite nelle sei sub aree, perchè caratterizzate da una distribuzione dei sondaggi poco uniforme o totalmente assenti in grosse porzioni di territorio.

Si fa presente che per l’ex Base NATO, è stato presentato uno specifico Piano di Caratterizzazione e pertanto risulta esclusa dal presente studio.

Per quanto riguarda la contaminazione in falda l’analisi di rischio è stata sviluppata per l’intero sito, in quanto si è ritenuto non tecnicamente valido suddividere per ambiti la falda che rappresenta in effetti un unico corpo idrico sotterraneo in cui, tra l’altro, la contaminazione (costituita essenzialmente da idrocarburi) si presenta distribuita in modo abbastanza uniforme sull’intero sito.

Nella figura n. 1 si riporta la perimetrazione delle sei sub aree.

Fig. n. 1 – Perimetro delle sub aree



3.3 Parametri di input Analisi di Rischio

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. L'analisi di rischio è stata svolta in modalità sia diretta che inversa ai fini del calcolo del rischio e delle Concentrazioni Soglia di Rischio.

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 (e le CSR) 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).

I dati di input richiesti dal software utilizzato, Risk-net, 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-ISPESL.

I valori dei parametri selezionati e comuni a tutti i casi per le singole sub aree sono riportati in tabella n. 2.

Tab. n. 2 – Parametri sito specifici

Simbolo	Parametro	Unità di misura	Valore di default doc. APAT (tab. 5.2)	Valore utilizzato
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	0	100
d	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)	cm	100	100
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 fondazioni da p.c. (RES.)	cm	0,15	0,15
η	Frazione areale di fratture indoor	adim	0,01	0,01

Relativamente alla scelta dei parametri di input:

- le dimensioni delle sorgenti, data la difficoltà e la poca significatività nella determinazione del “perimetro del sito”, trattandosi di un intero quartiere urbano, sono state determinate facendo riferimento ad un’area di default alla quale sono stati associati, in via cautelativa, i valori massimi delle concentrazioni dei contaminanti rilevati in il sito di studio;
- i parametri degli edifici corrispondono ai valori di default, ad eccezione della sub area 1. In ogni caso i parametri di default sono risultati maggiormente cautelativi rispetto a quelli sito specifici;

- i parametri sito-specifici relativi alle caratteristiche del terreno insaturo sono stati determinati secondo il principio di massima cautela, pertanto è stata selezionata una granulometria corrispondente ad una sabbia sia per il suolo superficiale che profondo insaturo.

Le ipotesi relative alla scelta dei contaminanti sono le seguenti:

- 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: C5- C8 per C<12 e C9-C18 per C>12);
- 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 sono state considerate le forme Mercurio elementare e Metilmercurio, che rappresentano le scelte più cautelative rispetto ai percorsi attivati;
- per quanto riguarda il limite di riferimento per il Berillio, è stato considerato un valore pari a 6,3 mg/kg utilizzato dal Gruppo di Lavoro di cui alla Direttiva Ministeriale del 23.12.2013, emanata in attuazione del Decreto Legge n.136/2013 “Disposizioni urgenti in materia di reati ambientali e per la tutela dell’ambiente, della salute e delle produzioni agroalimentari in Campania”, convertito in legge 6 febbraio 2014 n.6, nella relazione finale, consegnata ai Ministri interessati il 10 marzo 2014, per i Comuni ricadenti nel territorio della Terra dei Fuochi.
- I parametri chimico fisici e tossicologici utilizzati sono quelli riportati nella banca dati ISS-ISPEL, aggiornata a Marzo 2015.
- Il foc, il pH, e la densità dei suoli non sono stati determinati in fase di caratterizzazione e pertanto sono stati inseriti valori di default.

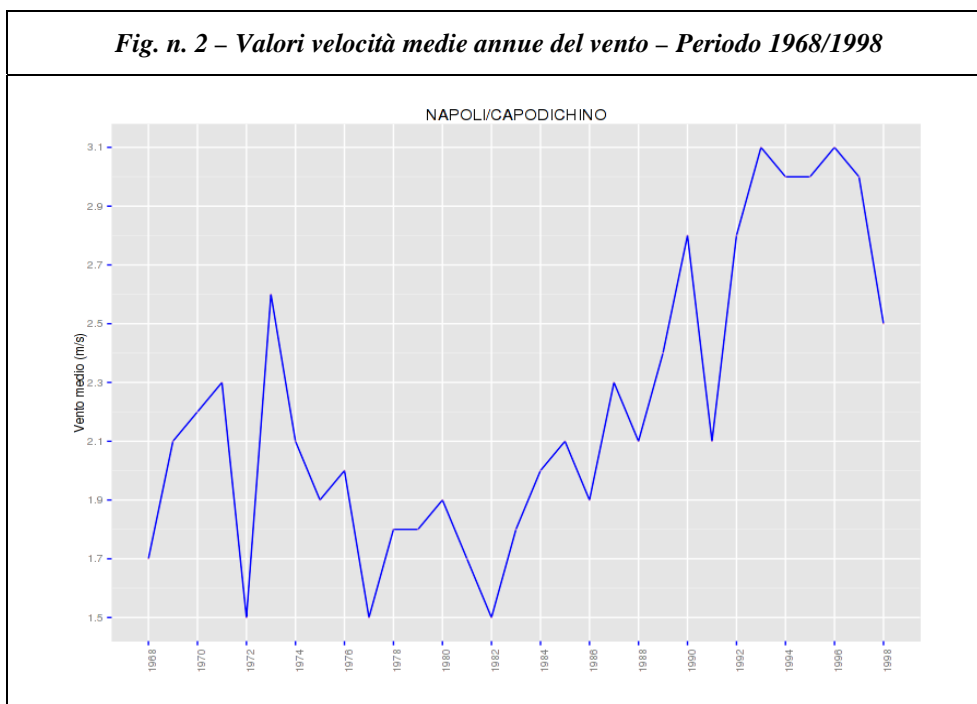
Si evidenzia infine che il rischio sanitario proveniente dalla sorgente falda è stato valutato in uno studio specifico di cui al capitolo n. 10 della presente.

3.4 Parametri meteo climatici

Per l’elaborazione dell’analisi di rischio sito specifica, sono stati definiti i parametri meteo climatici velocità del vento e piovosità. Per essi sono stati utilizzati i dati meteorologici ricavati dall’archivio SCIA (Sistema nazionale per la raccolta, l’elaborazione e la diffusione di dati Climatologici di Interesse Ambientale) al link <http://www.scia.isprambiente.it> e fanno riferimento alla stazione meteo di Napoli Capodichino.

Nella figura n. 2 vengono rappresentate le velocità medie annuali del vento relativamente alla serie storica 1968 -1998, mentre nell’allegato 14 si riportano i valori della velocità media del vento per ogni

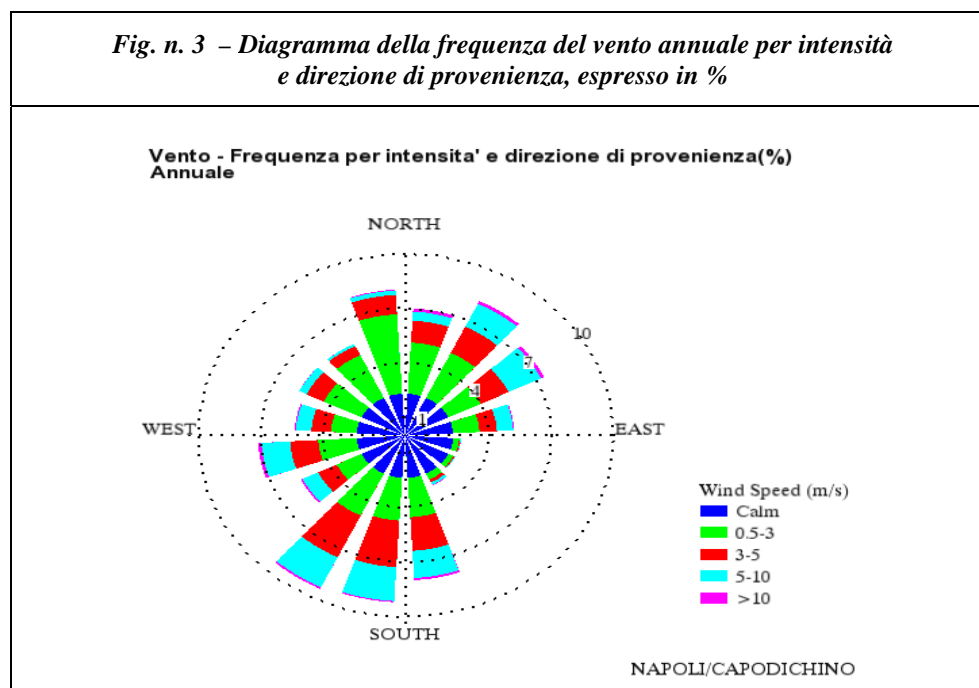
anno. Il valore utilizzato ai fini dell’implementazione dell’analisi di rischio è **1,5 m/s** corrispondente al minimo rilevato.



Ai fini della stima del valore di velocità media del vento alla quota di 2 m, all’interno del software sono state impostate una quota di 10 m della centralina meteo di riferimento, una classe di stabilità atmosferica D ed una tipologia di suolo “urbano”.

Nella figura n. 3 viene riportato il diagramma della frequenza del vento in relazione all’intensità ed alla direzione di provenienza.

Fig. n. 3 – Diagramma della frequenza del vento annuale per intensità e direzione di provenienza, espresso in %



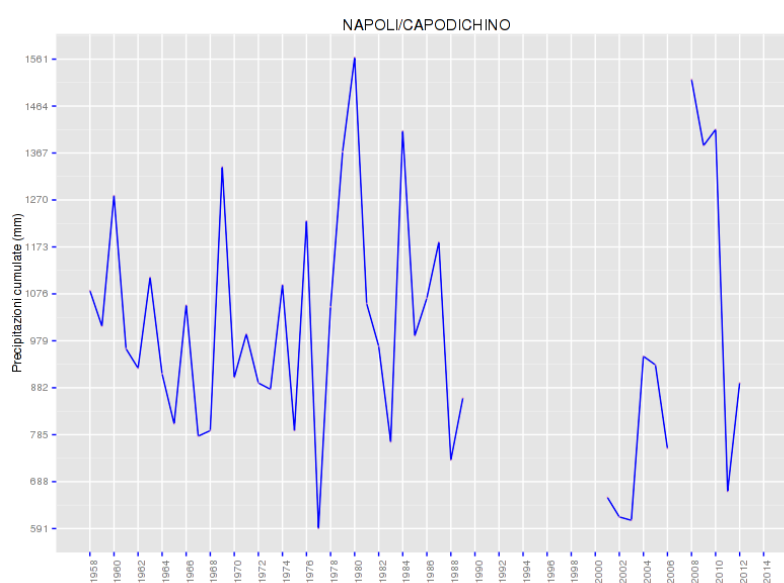
Nella tabella n. 3 vengono riportati i valori utilizzati per l’elaborazione dello stesso. La direzione principale di provenienza del vento è S-SW.

Tab. n. 3 – Percentuali delle frequenze dell’intensità del vento, per l’elaborazione diagramma anemometrico

Intensità (m/s)	CALM	0.5 – 3.0	3.0 – 5.0	5.0 – 10.0	> 10.0	
Frequenze espresse in %	Settore 1	2.31	2.82	1.21	0.50	0.18
	Settore 2	2.31	2.74	1.60	1.40	0.17
	Settore 3	2.31	1.72	1.49	1.73	0.17
	Settore 4	2.31	1.28	0.83	0.79	0.04
	Settore 5	2.31	0.30	0.05	0.03	0.01
	Settore 6	2.31	0.26	0.06	0.04	0.00
	Settore 7	2.31	0.37	0.18	0.14	0.03
	Settore 8	2.31	2.18	1.85	1.50	0.12
	Settore 9	2.31	2.36	2.56	1.87	0.07
	Settore 10	2.31	2.57	2.54	1.83	0.10
	Settore 11	2.31	1.32	0.98	0.83	0.09
	Settore 12	2.31	1.85	1.35	1.38	0.16
	Settore 13	2.31	1.24	0.94	0.74	0.06
	Settore 14	2.31	2.02	0.91	0.39	0.01
	Settore 15	2.31	2.60	0.56	0.13	0.01
	Settore 16	2.31	4.38	1.07	0.24	0.05

Nella figura n. 4 viene rappresentato l’andamento delle precipitazioni cumulate annue nel periodo 1958-2012, mentre in allegato 14 si riportano i corrispondenti valori annuali. Il valore utilizzato ai fini dell’implementazione dell’analisi di rischio è **1.561 mm/anno**, corrispondente al massimo rilevato.

Fig. n. 4 – Valori precipitazioni cumulate annue – Periodo 1958/2012



4. SUB AREA 1

L'area, individuata territorialmente negli ambiti di Bagnoli/Coroglio, è definita a sud-ovest dalla spiaggia, a sud-est dalla strada di Via Nuova Bagnoli e dal muro di cinta dell'area ex ILVA ed a nord dal fascio dei binari FS-Metropolitana.

Essa ha destinazione prevalentemente residenziale con una piccola quota di edilizia pubblica, insufficiente la presenza di attrezzature per l'istruzione, quasi inesistenti gli spazi destinati al verde ed al tempo libero. Il patrimonio edilizio risulta diffusamente manomesso e degradato pur presentando riconoscibili tipologie dell'inizio del secolo. Gli isolati sono per lo più caratterizzati da tipologie a villino mono o plurifamiliare, che originariamente presentavano ampi giardini privati conferendo al quartiere una forte valenza residenziale. L'area occupa una superficie totale pari a 602.000 mq., suddivisa in aree private e pubbliche, aree residenziali, sedi stradali e ferroviarie, aree produttive/mercati ed infine aree adibite a verde pubblico.

Dal punto di vista distributivo, l'area in esame è per la maggiore di tipo residenziale con scarsissima presenza di verde pubblico, inoltre è limitata la presenza in ambito residenziale di attività produttive ed artigianali.

Infine rientrano nel perimetro due siti privati di un certo interesse:

- Università degli studi di Napoli (nuova sede di Ingegneria) in via Nuova Agnano;
- Uffici della SEPSA con annessa officina in Via Nuova Agnano.

Dal punto di vista urbanistico, l'area in esame è regolamentata dalla seguente documentazione:

- Variante urbanistica per l'area occidentale, approvata dalla Regione Campania nell'aprile 1998;
- Variante al PRG del comune di Napoli, approvata con Decreto del Presidente della Giunta Regione Campania n. 323 del 11 giugno 2004.

Le scelte operate nelle varianti al P.R.G rispondono ad una strategia finalizzata al raggiungimento di due obiettivi principali:

- la salvaguardia dell'ambiente naturale e degli insediamenti storici, da perseguire attraverso la tutela ed il ripristino dell'integrità fisica e dell'identità culturale del territorio;
- la riqualificazione degli insediamenti esistenti e delle aree dismesse attraverso la dotazione di spazi pubblici, attrezzature e insediamenti integrati (residenziali e produttivi, connessi al turismo e alla ricerca al commercio e all'artigianato).

La destinazione urbanistica della Sub area 1 – Ambiti Bagnoli/Coroglio è identificata nella zonizzazione della Variante per l'area occidentale al PRG del comune di Napoli come zone “nAb” (Agglomerati urbani d'impianto otto-novecentesco) e “nB” (Agglomerati urbani di recente formazione), mentre nella Variante

del 2004 come zone “A” (Insediamenti di interesse storico) e “Bb” (Agglomerati urbani di recente formazione), così come indicato nell’allegato 15.

Ai fini dell’elaborazione dell’analisi di rischio, lo scenario attuale coincide con quello futuro, dato che l’area è caratterizzata per la maggiore da residenze di fine ’800 / inizio ’900 e di recente formazione.

4.1 Indagini dirette

Nell’ambito dell’area in esame le attività hanno riguardato la realizzazione di n. 29 sondaggi geognostici con tecnica a carotaggio continuo, di cui n. 7 completati a pozzi di monitoraggio della falda, distinti a seguire in funzione della profondità:

- C8N, C31N, C40N, C48N, C64N, C65N, C80N, C96, C98, C99N, C101, C103, C104, C105N, C106N, C29N, C126, C108, C109N, C110, C24N, C125, spinti fino ad profondità di 15 m. da p.c.;
- PS4N, PS13, PS14, PS3N, PS18N, spinti fino ad profondità di 21 m. da p.c.;
- PS25N, spinto fino ad una profondità di 30 m. da p.c.;
- PP8, spinto fino ad una profondità di 45 m. da p.c.

Nella scelta dell’ubicazione dei sondaggi si è tenuto conto dei punti a maggiore criticità secondo un sistema ragionato di campionamento e dei risultati delle indagini indirette.

Nel corso dell’indagine ambientale è stato effettuato il prelievo di campioni di terreno, secondo quanto previsto dall’ex D.M. 471/99, successivamente sottoposti ad analisi chimiche di laboratorio per la ricerca degli analiti elencati nel relativo Piano della Caratterizzazione, di cui al paragrafo 2.4 della presente.

Dai sondaggi sono stati prelevati n. 87 campioni di terreno e 15 campioni di top soil (C8N-TS, C31N-TS, C40N-TS, C80N-TS, C96-TS, C101-TS, C103-TS, C104-TS, C106-TS, C108-TS, C125-TS, C29N-TS, PS13-TS, PS14-TS e PS3N-TS ad una profondità di 0,0 – 0,15 m.), destinati ad analisi di laboratorio per verificare lo stato qualitativo dei terreni dell’area in oggetto.

Dai sondaggi C8N, PS13, C29N e C125, i campioni di suolo sono stati prelevati alle seguenti profondità:

- un campione rappresentativo del suolo superficiale (0,0 – 0,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (1,5 – 2,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (3,5 – 5,0 m. di profondità da p.c.).

Dai sondaggi C64N, C65N e C108, i campioni sono stati prelevati alle seguenti profondità:

- un campione rappresentativo del suolo profondo (3,5 – 4,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (4,5 – 5,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (5,5 – 6,5 m. di profondità da p.c.).

Dal sondaggio C110, i campioni sono stati prelevati alle seguenti profondità:

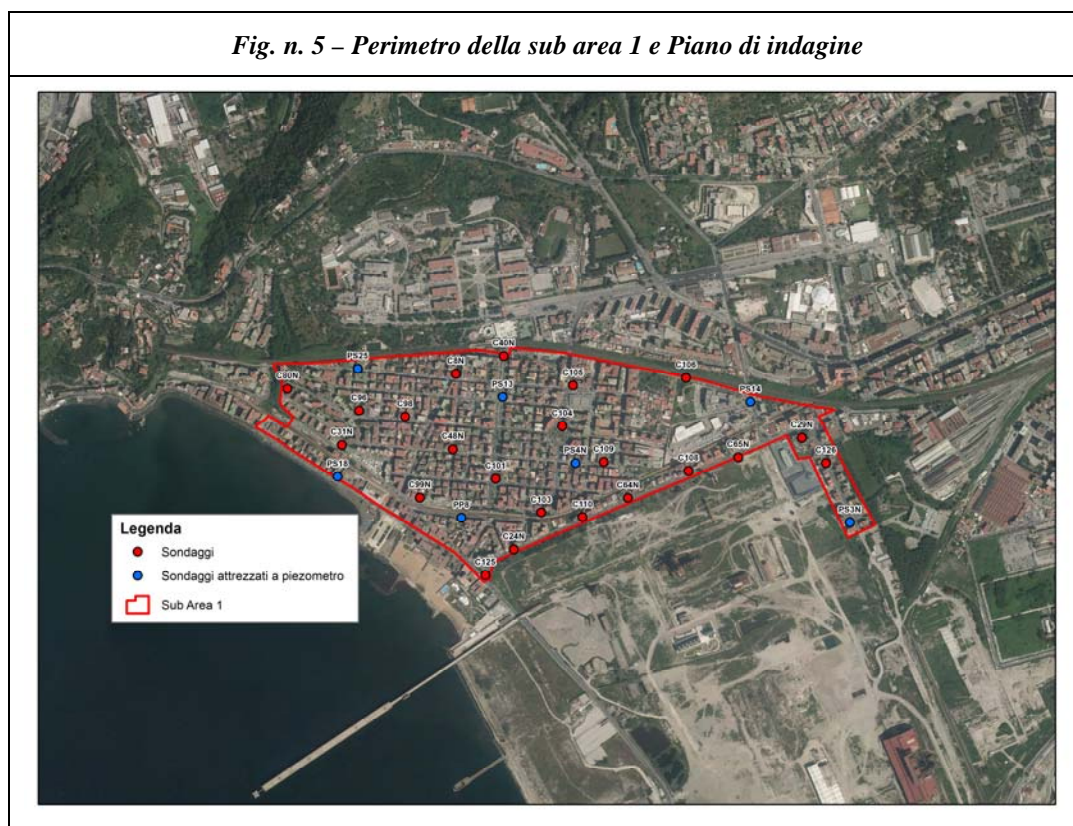
- un campione rappresentativo del suolo profondo (1,5 – 2,5 m. di profondità da p.c.);

- un campione rappresentativo del suolo profondo (2,5 – 3,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (3,5 – 5,0 m. di profondità da p.c.).

Dai rimanenti sondaggi, i campioni sono stati prelevati alle seguenti profondità:

- un campione rappresentativo del suolo superficiale e profondo (0,5 – 1,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (1,5 – 2,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (3,5 – 5,0 m. di profondità da p.c.).

Nella figura n. 5 sono rappresentati su ortofoto l’area ed i sondaggi eseguiti in base al Piano di Indagine.



4.2 Risultati analisi chimiche

I risultati delle analisi chimiche eseguite sui campioni di suolo e di sottosuolo 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 verde pubblico privato e residenziale dell’area.

Dall’elaborazione dei dati contenuti nell’allegato 8, sono stati estrapolati i valori dove si è riscontrato il superamento dei limiti di riferimento. Le relative concentrazioni sono state inserite nella tabella n. 4, dove si riportano gli analiti, il carotaggio/piezometro di riferimento, le coordinate geografiche, la profondità del campione, i limiti di riferimento e la data di esecuzione:

Tab. n. 4 – Superamenti Suoli sub area 1

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A (mg/kg)						20	6,3	2	100	120	150	50	10	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	10			
Sondaggio	Coord_X	Coord_Y	Soggiacenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Berillio	Cadmio	Piombo	Rame	Zinco	Idrocarburi C > 12	Idrocarburi C < 12	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Benzo (k) fluorantene	Dibenzo (a,e) pirene	Dibenzo (a,h) antracene	Dibenzo (a,i) pirene	Dibenzo (a,l) pirene	Indeno (1,2,3 -cd) pirene	Sommatoria IPA				
C31 NC2	429307	4518763	Sogg. > 5	0,5 - 1,5	04/01/2008							65																
C31 NC3				1,5 - 2,5				135	161																			
C31 NC5				3,5 - 5,0																								
C40 NC2	429765	4519015	Sogg. > 5	0,5 - 1,5	03/12/2007				110						0,31		0,14						0,12	0,25				
C40 NC3				1,5 - 2,5												0,17		0,15								0,17		
C40 NC5				3,5 - 5,0													0,19		0,17								0,19	
C48 NC2	429621	4518751	Sogg. > 5	0,5 - 1,5	09/01/2008							64																
C48 NC3				1,5 - 2,5																								
C48 NC5				3,5 - 5,0																								

Tab. n. 4 – Superamenti Suoli sub area 1

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A (mg/kg)						20	6,3	2	100	120	150	50	10	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	10		
Sondaggio	Coord_X	Coord_Y	Soggiacenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Berillio	Cadmio	Piombo	Rame	Zinco	Idrocarburi C >12	Idrocarburi C < 12	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Benzo (k) fluorantene	Dibenzo (a,e) pirene	Dibenzo (a,h) antracene	Dibenzo (a,i) pirene	Dibenzo (a,l) pirene	Indeno (1,2,3 -cd) pirene	Sommatoria IPA			
PS25 NC2	429352	4518979	19,50	0,5 - 1,5	29/01/2008										0,13		0,11							0,16			
PS25 NC3				1,5 - 2,5																							
PS25 NC5				3,5 - 5,0				141																			
PS18 NC2	429295	4518674	3,42	0,5 - 1,5	03/12/2007																						
PS18 NC3				1,5 - 2,5		39																					
PS18 NC5				3,5 - 5,0		51											4,5*			0,221*				0,111*			0,229*
C98 C2	429486	4518843	Sogg. > 5	0,5 - 1,5	09/01/2008							169															
C98 C3				1,5 - 2,5																							
C98 C5				3,5 - 5,0																							

Tab. n. 4 – Superamenti Suoli sub area 1

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A (mg/kg)						20	6,3	2	100	120	150	50	10	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	10		
Sondaggio	Coord_X	Coord_Y	Soggiacenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Berillio	Cadmio	Piombo	Rame	Zinco	Idrocarburi C >12	Idrocarburi C < 12	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Benzo (k) fluorantene	Dibenzo (a,e) pirene	Dibenzo (a,h) antracene	Dibenzo (a,i) pirene	Dibenzo (a,l) pirene	Indeno (1,2,3 -cd) pirene	Sommatoria IPA			
C99 NC2	429528	4518614	Sogg. > 5	0,5 - 1,5	03/12/2007							58															
C99 NC3				1,5 - 2,5																							
C99 NC5				3,5 - 5,0																							
PS13 C1	429762	4518899	19,60	0,0 - 0,5	05/01/2008																						
PS13 C3				1,5 - 2,5																							
PS13 C5				3,5 - 5,0				72																			
PP8 C2	429645	4518556	7,30	0,5 - 1,5	04/01/2008										0,12												
PP8 C3				1,5 - 2,5																							
PP8 C5				3,5 - 5,0				24																			

Tab. n. 4 – Superamenti Suoli sub area 1

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A (mg/kg)						20	6,3	2	100	120	150	50	10	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	10		
Sondaggio	Coord_X	Coord_Y	Soggiacenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Berillio	Cadmio	Piombo	Rame	Zinco	Idrocarburi C >12	Idrocarburi C < 12	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Benzo (k) fluorantene	Dibenzo (a,e) pirene	Dibenzo (a,h) antracene	Dibenzo (a,i) pirene	Dibenzo (a,l) pirene	Indeno (1,2,3 -cd) pirene	Sommatoria IPA			
C103 C2	429871	4518571	Sogg. > 5	0,5 - 1,5	26/11/2007	36						128*		1,14	1,54	1,75	1,16	1,28	0,28*	0,34	0,16*	0,66*	1,29	18,242*			
C103 C3				1,5 - 2,5		72,1*																					
C103 C5				3,5 - 5,0																							
C104 C2	429931	4518816	Sogg. > 5	0,5 - 1,5	28/11/2007		6,4																				
C104 C3				1,5 - 2,5			89*																				
C104 C5				3,5 - 5,0																							
C106 NC2	430281	4518954	Sogg. > 5	0,5 - 1,5	07/12/2007										0,13								0,12				
C106 NC3				1,5 - 2,5																							
C106 NC5				3,5 - 5,0																							

Tab. n. 4 – Superamenti Suoli sub area 1

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A (mg/kg)						20	6,3	2	100	120	150	50	10	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	10		
Sondaggio	Coord_X	Coord_Y	Soggiacenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Berillio	Cadmio	Piombo	Rame	Zinco	Idrocarburi C >12	Idrocarburi C < 12	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Benzo (k) fluorantene	Dibenzo (a,e) pirene	Dibenzo (a,h) antracene	Dibenzo (a,i) pirene	Dibenzo (a,l) pirene	Indeno (1,2,3 -cd) pirene	Sommatoria IPA			
C109 NC2	430048	4518715	Sogg. > 5	0,5 - 1,5	08/01/2008							169															
C109 NC3				1,5 - 2,5																							
C109 NC5				3,5 - 5,0																							
C125 C1	429713	4518395	Sogg. > 5	0,0 - 0,5	15/11/2007										0,17		0,15						0,20				
C125 C3				1,5 - 2,5		28																					
C125 C5				3,5 - 5,0		69																					
PS3 NC2	430745	4518543	10,68	0,5 - 1,5	15/11/2007							60			0,38		0,29					0,12	0,5				
PS3 NC3				1,5 - 2,5												0,14									0,14		
PS3 NC5				3,5 - 5																							

Tab. n. 4 – Superamenti Suoli sub area 1

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A (mg/kg)						20	6,3	2	100	120	150	50	10	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	10		
Sondaggio	Coord_X	Coord_Y	Soggiacenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Berillio	Cadmio	Piombo	Rame	Zinco	Idrocarburi C >12	Idrocarburi C < 12	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Benzo (k) fluorantene	Dibenzo (a,e) pirene	Dibenzo (a,h) antracene	Dibenzo (a,i) pirene	Dibenzo (a,l) pirene	Indeno (1,2,3 -cd) pirene	Sommatoria IPA			
C29 NC1	430609	4518783	Sogg. > 5	0,0 - 0,5	12/11/2007							62															
C29 NC3				1,50-2,50																							
C29 NC5				3,50-5,00																							
C126 C2	430677	4518712	8,20	0,5 - 1,5	13/11/2007				2140	124		880															
C126 C3				1,50-2,50																							
C126 C5				3,50-5,00																							
* valore da validazione ARPAC																											

4.3 Parametri Sito Specifici

4.3.1 Parametri di idrogeologia locale

Il flusso idrico sotterraneo è caratterizzato dalla presenza di falde sovrapposte, in cui le caratteristiche litologiche, geometriche e meccaniche dei terreni (materiali di riporto, depositi palustri limosi e torbosi, sabbie e limi marini, depositi vulcanici e sabbie costiere) sono tali da determinare un grado di permeabilità variabile e, nel contempo, l'assenza di veri e propri livelli impermeabili, per cui le varie falde sono tra di loro interconnesse.

L'acquifero intercettato è posto a profondità medie comprese tra i 3,42 e i 19,60 m. dal piano campagna, valori di soggiacenza definiti in base all'elaborazione dei dati contenuti negli allegati 12 e 13 e riportati nella tabella n. 5:

Piezometro	Soggiacenza da p.c. (m)
PS4N	10,78
PS13	19,60
PS14	14,60
PS3N	10,71
PS18N	3,42
PS25N	19,50
PP8	7,30

4.3.2 Granulometria/tessitura del suolo

Dall'esame delle stratigrafie, riportate nell'allegato 10, è possibile sintetizzare per ogni singolo sondaggio/piezometro la seguente successione litologica.

Per il sondaggio C8N:

- da 0,00 a 1,30 circa m. da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia medio-grossolana ghiaiosa poco addensata, presenza di frammenti lateritici;
- da 1,30 a 6,80 circa m. da p.c.: sabbia grossolana poco addensata di colore marrone scuro con inclusi etero metrici;
- da 6,80 a 11,20 circa m. da p.c.: sabbia media poco addensata, di colore grigio chiaro, con incluse rare breccie calcaree centimetri che;

- da 11,20 a 15,00 circa m. da p.c.: sabbia grossolana debolmente limosa, poco addensata, di colore marrone scuro con inclusi millimetrici.

Per il sondaggio C24N:

- da 0,00 a 2,50 circa m. da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, pezzi di ceramica e resti ferrosi;
- da 2,50 a 5,00 circa m. da p.c.: sabbia fine di colore grigio con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;
- da 5,00 a 9,00 circa m. da p.c.: sabbia fine debolmente limosa di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;
- da 9,00 a 15,00 circa m. da p.c.: sabbia grossolana di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.

Per il sondaggio C29N:

- da 0,00 a 3,50 circa m. da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, materiali plastici, ceramiche e laterizi;
- da 3,50 a 7,20 circa m. da p.c.: sabbia di colore marrone-grigiastra limosa;
- da 7,20 a 7,70 circa m. da p.c.: intervallo di paleosuolo costituito da sabbia di colore nero;
- da 7,70 a 8,20 circa m. da p.c.: sabbia di colore marrone-grigiastra limosa;
- da 8,20 a 15,00 circa m. da p.c.: sabbia grossolana di colore grigiastra con presenza di pomici.

Per il sondaggio C31N:

- da 0,00 a 2,00 circa m. da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia limosa di colore marrone con clasti eterometrici;
- da 2,00 a 3,00 circa m. da p.c.: sabbia limosa di colore beige, poco addensata, con ciottoli eterometrici;
- da 3,00 a 8,60 circa m. da p.c.: sabbia limosa di colore marrone, poco addensata;
- da 8,60 a 14,30 circa m. da p.c.: sabbia fine di colore beige, poco addensata;
- da 14,30 a 15,00 circa m. da p.c.: sabbia limosa di colore marrone, poco addensata.

Per il sondaggio C40N:

- da 0,00 a 0,50 circa m. da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia medio sciolta e frammenti lateritici;
- da 0,50 a 2,50 circa m. da p.c.: sabbia media mediamente addensata, di colore marrone scuro;
- da 2,50 a 15,00 circa m. da p.c.: sabbia media mediamente addensata, di colore marrone chiaro.

Per il sondaggio C48N:

- da 0,00 a 1,50 circa m. da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, asfalto, ceramica, vetro, pezzi di ferro e frammenti lateritici;
- da 1,50 a 5,00 circa m. da p.c.: sabbia, colore marrone, presenza di pomici di diametro millimetrico, poco addensata;
- da 5,00 a 15,00 circa m. da p.c.: sabbia debolmente limosa, colore grigio-marrone, presenza di pomici di diametro millimetrico, poco addensato.

Per i sondaggi C64N e C65N:

- da 0,00 a 3,50 circa m. da p.c.: materiale di riporto, costituito sabbia mista a materiale da demolizione;
- da 3,50 a 5,00 circa m. da p.c.: sabbia fine di colore grigio con presenza di pomici millimetriche;
- da 5,00 a 9,00 circa m. da p.c.: sabbia limosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche;
- da 9,00 a 15,00 circa m. da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche.

Per il sondaggio C80N:

- da 0,00 a 5,00 circa m. da p.c.: terreno di riporto costituito da sabbia limosa di colore marrone con clasti calcarei e pomicei etero metrici;
- da 5,00 a 15,00 circa m. da p.c.: sabbia fine di colore beige con clasti calcarei e pomicei bianchi etero metrici millimetriche.

Per il sondaggio C96:

- da 0,00 a 1,00 circa m. da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia media di colore marrone con clasti calcarei etero metrici;
- da 1,00 a 3,30 circa m. da p.c.: sabbia fine di colore marrone ben classata con presenza di ghiaia medio-grossa;
- da 3,30 a 8,00 circa m. da p.c.: sabbia fine debolmente limosa di colore marrone;
- da 8,00 a 15,00 circa m. da p.c.: sabbia fine debolmente limosa di colore beige con pomici bianche millimetriche.

Per il sondaggio C98N:

- da 0,00 a 0,50 circa m. da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale fine;
- da 0,50 a 7,50 circa m. da p.c.: sabbia fine sciolta debolmente limosa di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;

- da 7,50 a 10,00 circa m. da p.c.: sabbia fine sciolta di colore grigio-marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;
- da 10,00 a 15,00 circa m. da p.c.: sabbia fine sciolta debolmente limosa di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.

Per il sondaggio C99N:

- da 0,00 a 1,00 circa m. da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia limosa con frammenti di laterizi;
- da 1,00 a 2,00 circa m. da p.c.: sabbia limosa di colore marrone poco addensata;
- da 2,00 a 11,20 circa m. da p.c.: sabbia fine di colore grigio-giallastro con presenza di pomici millimetriche poco addensata;
- da 11,20 a 15,00 circa m. da p.c.: limo sabbioso marrone chiaro.

Per il sondaggio C101:

- da 0,00 a 0,50 circa m. da p.c.: materiale di riporto, costituito da sabbia fine e frammenti lateritici;
- da 0,50 a 2,00 circa m. da p.c.: sabbia fine, moderatamente addensata, marrone;
- da 2,00 a 15,00 circa m. da p.c.: sabbia fine limosa, mediamente addensata, grigio-marrone chiaro.

Per il sondaggio C103:

- da 0,00 a 2,00 circa m. da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, frammenti di asfalto e laterizi, frustoli vegetali;
- da 2,00 a 9,70 circa m. da p.c.: sabbia grossolana grigia, sciolta, con presenza di clasti centimetrici;
- da 9,70 a 11,20 circa m. da p.c.: sabbia e limo di colore marrone scuro con abbondanti clasti eterometrici;
- da 11,20 a 11,70 circa m. da p.c.: limo sabbioso di colore marrone chiaro, con rari clasti millimetrici;
- da 11,70 a 12,50 circa m. da p.c.: sabbia fine di colore verde, con abbondanti clasti eterometrici;
- da 12,50 a 15,00 circa m. da p.c.: sabbia grossolana di colore marrone scuro, mediamente addensata con abbondanti clasti millimetrici.

Per il sondaggio C104:

- da 0,00 a 2,00 circa m. da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, ghiaietto, frammenti di ceramica e ferro;
- da 2,00 a 5,00 circa m. da p.c.: sabbia fine limosa di colore grigio;
- da 5,00 a 12,00 circa m. da p.c.: sabbia fine di colore marrone con pomici millimetriche;
- da 12,00 a 15,00 circa m. da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;

Per il sondaggio C105:

- da 0,00 a 0,50 circa m. da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale fine;
- da 0,50 a 6,50 circa m. da p.c.: sabbia limosa di colore grigio-beige con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;
- da 6,50 a 15,00 circa m. da p.c.: sabbia debolmente limosa di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.

Per il sondaggio C106:

- da 0,00 a 2,50 circa m. da p.c.: materiale di riporto costituito da: pezzi di ceramica e ferro;
- da 2,50 a 11,50 circa m. da p.c.: sabbia limosa fine di colore grigio;
- da 11,50 a 15,00 circa m. da p.c.: sabbia limosa fine di colore marrone.

Per il sondaggio C108:

- da 0,00 a 5,00 circa m. da p.c.: materiale di riporto, costituito da sabbia mista a materiale da demolizione fino a 2.50 m di profondità e da sabbia limosa con ciottoli da 2.50 a 5.00 m di profondità;
- da 5,00 a 15,00 circa m. da p.c.: sabbia limosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche.

Per il sondaggio C109N:

- da 0,00 a 0,50 circa m. da p.c. : massetto cementizio e materiale di riporto costituito da sabbia con presenza di calcestruzzo;
- da 0,50 a 3,00 circa m. da p.c.: sabbia fine limosa, moderatamente addensata, marrone scuro;
- da 3,00 a 15,00 circa m. da p.c.: sabbia fine limosa, moderatamente addensata, marrone chiaro.

Per il sondaggio C110:

- da 0,00 a 1,50 circa m. da p.c. : materiale di riporto costituito da sabbia grossolana sciolta con presenza di frammenti di laterizi;
- da 1,50 a 2,50 circa m. da p.c.: sabbia grossolana sciolta marrone scuro;
- da 2,50 a 15,00 circa m. da p.c.: sabbia fine limosa, moderatamente addensata, marrone chiaro.

Per il sondaggio C125:

- da 0,00 a 2,80 circa m. da p.c. : materiale di riporto costituito da materiale sabbioso ghiaioso;
- da 2,80 a 4,80 circa m. da p.c.: sabbia di colore grigio con presenza di minuti pomici;
- da 4,80 a 15,00 circa m. da p.c.: sabbia di colore grigio scuro ricca in pomice.

Per il sondaggio C126:

- da 0,00 a 3,50 circa m. da p.c. : materiale di riporto costituito da sabbia, ghiaietto e frammenti plastici, ferrosi e lateritici;
- da 3,50 a 8,20 circa m. da p.c.: sabbia di colore grigiastro limosa;
- da 8,20 a 15,00 circa m. da p.c.: sabbia di colore grigio scuro ricca in pomice.

Per il piezometro PP8:

- da 0,00 a 1,00 circa m. da p.c. : materiale di riporto costituito da sabbia limosa con frammenti di laterizi;
- da 1,00 a 2,50 circa m. da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici millimetriche poco addensata;
- da 2,50 a 5,50 circa m. da p.c.: sabbia fine di colore grigio con presenza di pomici millimetriche poco addensata;
- da 5,50 a 9,00 circa m. da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore grigio-giallognolo con presenza di pomici da millimetriche a centimetriche e frammenti tufacei poco addensata;
- da 9,00 a 12,00 circa m. da p.c.: sabbia limosa di colore grigio presenza di pomici millimetriche, addensata;
- da 12,00 a 25,00 circa m. da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore grigio con presenza di pomici da millimetriche a centimetriche e frammenti tufacei di dimensioni 3- 4 cm;
- da 25,00 a 30,00 circa m. da p.c.: sabbia di colore grigio con presenza di pomici eterometriche scorie e lapilli;
- da 30,00 a 43,00 circa m. da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore grigio con presenza di pomici da millimetriche a centimetriche e frammenti tufacei di dimensioni 3- 4 cm;
- da 43,00 a 45,00 circa m. da p.c.: sabbia fine, di colore grigio, presenza di pomici millimetriche, addensata.

Per il piezometro PS3N:

- da 0,00 a 2,00 circa m. da p.c. : materiale di riporto costituito da limo sabbioso marrone con diffusa presenza di pomici e clasti calcarei;
- da 2,00 a 5,00 circa m. da p.c.: materiale di riporto costituito da limo sabbioso di colore variabile da marrone chiaro a grigio con presenza di pomici;
- da 5,00 a 6,50 circa m. da p.c.: materiale di riporto costituito da limo sabbioso marrone con elevata presenza di pomici;
- da 6,50 a 11,00 circa m. da p.c.: sabbia fine di colore grigio ricca di pomici millimetriche;
- da 11,00 a 21,00 circa m. da p.c.: sabbia di colore grigio ricca di pomici millimetriche.

Per il piezometro PS4N:

- da 0,00 a 0,70 circa m. da p.c. : materiale di riporto costituito da sabbia e ciottoli vulcanici;
- da 0,70 a 1,50 circa m. da p.c.: sabbia di colore marrone, presenza di pomici millimetriche poco addensata;
- da 1,50 a 5,00 circa m. da p.c.: sabbia limosa di colore giallastro, presenza di pomici millimetriche, poco addensata;
- da 5,00 a 9,00 circa m. da p.c.: sabbia di colore marrone, presenza di pomici millimetriche;
- da 9,00 a 11,00 circa m. da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore grigio presenza di pomici di dimensioni da millimetriche a centimetriche, addensata;
- da 11,00 a 21,00 circa m. da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone presenza di pomici di dimensioni da millimetriche a centimetriche, addensata.

Per il piezometro PS13:

- da 0,00 a 1,40 circa m. da p.c. : sabbia media moderatamente addensata di colore marrone, con presenza di resti vegetali e di clasti pomicei da millimetrici a centimetrici;
- da 1,40 a 6,00 circa m. da p.c.: sabbia fine da moderatamente a mediamente addensata, di colore giallastro, con presenza di clasti pomicei millimetrici;
- da 6,00 a 8,50 circa m. da p.c.: limo sabbioso poco consistente di colore marrone scuro, che passa verso il basso a sabbia limosa moderatamente addensata;
- da 8,50 a 10,00 circa m. da p.c.: sabbia di colore marrone scuro con pomici eterometriche;
- da 10,00 a 12,50 circa m. da p.c.: sabbia limosa, moderatamente addensata, di colore marrone scuro, con pomici eterometriche;
- da 12,50 a 13,50 circa m. da p.c.: sabbia ghiaiosa mediamente addensata, di colore marrone scuro, con pomici eterometriche;
- da 13,50 a 17,00 circa m. da p.c.: sabbia ghiaiosa, di colore marrone chiaro, con abbondanti pomici eterometriche;
- da 17,00 a 18,00 circa m. da p.c.: limo sabbioso moderatamente consistente, di colore grigio, con pomici millimetriche;
- da 18,00 a 21,00 circa m. da p.c.: sabbia ghiaiosa, poco addensata, di colore marrone, con presenza di clasti eterogenei ed eterometrici.

Per il piezometro PS14:

- da 0,00 a 0,20 circa m. da p.c. : massetto cementizio;
- da 0,20 a 3,00 circa m. da p.c.: sabbia fine, moderatamente addensata, di colore marrone scuro;

- da 3,00 a 9,00 circa m. da p.c.: sabbia fine, moderatamente addensata, di colore marrone chiaro;
- da 9,00 a 21,00 circa m. da p.c.: sabbia fine, moderatamente addensata, di colore marrone rossastro.

Per il piezometro PS25:

- da 0,00 a 1,50 circa m. da p.c. : terreno di riporto costituito da materiale fine sciolto;
- da 1,50 a 5,50 circa m. da p.c.: sabbia limosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche;
- da 5,50 a 10,00 circa m. da p.c.: sabbia limosa di colore marrone ricca di pomici millimetriche, con livelli scoriacei intercalati;
- da 10,00 a 17,50 circa m. da p.c.: sabbia limosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche;
- da 17,50 a 30,00 circa m. da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche.

Per il piezometro PS18:

- da 0,00 a 2,00 circa m. da p.c. : materiale di riporto costituito da ghiaia e sabbia color ocra;
- da 2,00 a 5,00 circa m. da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone chiaro con presenza di pomici millimetriche;
- da 5,00 a 10,50 circa m. da p.c.: sabbia fine di colore marrone con presenza di pomici millimetriche;
- da 10,50 a 21,00 circa m. da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore nero con presenza di pomici millimetriche.

Dall'analisi delle suindicate stratigrafie è possibile individuare tre orizzonti principali, classificando i terreni nel seguente modo:

- orizzonte A, costituito da materiale di riporto composto da sabbia ghiaiosa e limosa, frammenti vulcanici e residui di demolizioni, con spessori variabili da 0,00/0,50 m. a 0,00/3,50 m.;
- orizzonte B, classificabile per la maggiore come sabbia fine limosa o debolmente limosa, con spessori variabili fino a 15,00 m. dal p.c. (fondo foro dei sondaggi non attrezzati a piezometro);
- orizzonte C, classificabile per la maggiore come sabbia ghiaiosa con spessori variabili fino a 45,00 m. dal p.c. (fondo foro del piezometro PP8).

4.3.3 Parametri degli edifici

Siccome la sub area 1 risulta quasi per intero tutta urbanizzata, le aree esterne alle residenze sono costituite dai marciapiedi, dalle strade e da una piccola percentuale di aree a verde (1,5% della superficie totale della sub area1). Trattandosi di viabilità e di marciapiedi, la pavimentazione risulta in molti punti

fessurata, ciò è dovuto al traffico veicolare e alla realizzazione di lavori di posa e manutenzione dei sottoservizi.

In relazione ai fabbricati, si individuano due tipologie di edifici, una in muratura di tufo ed una in cemento armato.

Gli edifici in muratura sono caratterizzati da un minimo di due ad un massimo di cinque piani fuori terra, con un interpiano tipo di 4,00 m. e spessore muratura di 70 cm. E' presente un piano terra con calpestio a quota marciapiede, dove sono ubicate attività commerciali, con interpiano di 4,00 m. e spessore muratura di 70 cm. E' altresì individuabile un piano interrato, adibito a deposito/box, con altezza di 3,00 m. e spessore muratura di 80 cm. Ci sono inoltre edifici in muratura con piano rialzato, adibito a residenza, con una differenza di quota tra calpestio del piano e marciapiede, variabile da 60 cm. a 120 cm. In tal caso è presente un piano seminterrato, adibito a deposito/box, avente altezza di 3,00 m., spessore muratura di 80 cm. e altezza pareti a contatto con il terreno variabile da 2,40 m. a 1,80 m.

Gli edifici in cemento armato sono caratterizzati da un minimo di cinque ad un massimo di otto piani fuori terra, con un interpiano tipo di 3,00 m. e spessore muratura di 30 cm. E' presente un piano terra con calpestio a quota marciapiede, dove sono ubicate attività commerciali, con interpiano di 3,70 m. e spessore muratura di 30 cm. E' altresì individuabile un piano interrato, adibito a deposito/garage, con altezza di 2,70 m. e spessore muratura di contenimento di 30 cm. (pareti in c.a.). In tal caso l'altezza delle pareti a contatto con il terreno è di 2,70 m.

4.4 Modello concettuale sito specifico e risultati

Per la definizione del modello concettuale sono stati individuati n. 3 casi in base al tipo di bersaglio considerato ed al percorso di esposizione attivato.

- caso 1: bersaglio residenziale e area urbana pavimentata;
- caso 2: bersaglio lavoratore;
- caso 3: area a verde residenziale.

I valori dei parametri selezionati e comuni a tutti i casi esaminati sono riportati in tabella n. 6.

<i>Tab. n. 6 – Parametri sito specifici</i>				
Simbolo	Parametro	Unità di misura	Valore di default doc. APAT (tab. 5.2)	Valore utilizzato
L_f	Profondità della base della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	cm	300	1960
L_b	Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (RES.)	cm	200	400
L_b	Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (COM.)	cm	200	150
Zcrack	Profondità fondazioni da p.c. (RES.)	cm	0,15	240
Zcrack	Profondità fondazioni da p.c. (COM.)	cm	0,15	280

- i parametri degli edifici fanno riferimento alle tipologie maggiormente cautelative rappresentate da un edificio con piano rialzato di altezza pari a 4 m sovrastante un piano seminterrato, ad uso non abitativo, di altezza pari a circa 3 m di cui 2,80 m interrati per il caso 1 e da un edificio totalmente interrato ad uso lavorativo di altezza pari a 2,80 m per il caso 2. Per le dimensioni della base degli edifici è stato indicativamente preso a riferimento un quadrato di lato pari a 13 m.;
- per il suolo profondo insaturo si è ipotizzato uno spessore pari a 18,6 m.
- per i casi 1 e 2 sono stati selezionati esclusivamente i contaminanti volatili e semivolatili.

Caso 1 – Aree Residenziali

Le sorgenti di contaminazione sono state individuate nel suolo superficiale e nel suolo profondo.

I percorsi di esposizione attivati sono la volatilizzazione indoor e outdoor, avendo considerato che l’area residenziale risulta quasi totalmente edificata. I bersagli individuati sono i residenti.

Le concentrazioni rappresentative delle sorgenti corrispondenti alle massime di tutta la sub-area 1 sono indicate nelle tabelle n. 7 e n. 8.

<i>Tab. n. 7 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SS</i>	
Contaminante	CRS (mg/kg)
Alifatici C9-C18	8,80E+02

Tab. n. 8 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SP

Contaminante	CRS (mg/kg)
Alifatici C5-C8	2,40E+01
Alifatici C9-C18	8,90E+01

Risultati - Caso 1

- Suolo superficiale

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell’esposizione a sostanze volatili presenti nel suolo superficiale ha evidenziato un Indice di pericolo non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 per inalazione indoor.

Nella figura n. 6 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile per l’indice di pericolo.

Fig. n. 6 – Valori dell’Indice di Pericolo SS – Sub area 1_Caso1

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)
Alifatici C9-C18	8,80E+02	---		8,80E+02	---	---	1,09E+01

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione della CSR indicata nella figura n. 7, che rappresenta la concentrazione per cui non si rileva un rischio di tipo sanitario.

Fig. n. 7 – Concentrazioni Soglia di Rischio SS - Sub area 1_Caso1

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.]	CSR suolo superficiale [mg/kg T.Q.]	Rischio cancerogeno (R)	Indice di pericolo (HI)
Alifatici C9-C18	8,06E+01		8,06E+01	7,74E+01	---	1,00E+00

In figura n. 8 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.

Fig. n. 8 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS - Sub area 1_Caso 1



- Suolo profondo

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell’esposizione a sostanze volatili presenti nel suolo profondo ha evidenziato un Indice di pericolo non accettabile per idrocarburi alifatici C5-C8 e per idrocarburi alifatici C9-C18 per inalazione indoor.

Nella figura n. 9 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile per l’indice di pericolo.

Fig. n. 9 – Valori dell’Indice di Pericolo SP- Sub area 1_Caso1

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)
Alifatici C5-C8	2,40E+01	---		2,40E+01	---	---	2,70E+01
Alifatici C9-C18	8,90E+01	---		8,90E+01	---	---	1,10E+00

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	5,23E-01
Indoor	---	2,81E+01

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR indicate nella figura n. 10, che rappresentano le concentrazioni per cui non si rileva un rischio di tipo sanitario. La CSR degli alifatici C5-C8 risulta minore della CSC, pertanto quest’ultima rappresenta l’effettivo obiettivo di bonifica.

Fig. n. 10 – Concentrazioni Soglia di Rischio SP - Sub area 1_Caso1

Contaminanti	CSR individual e [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo profondo [mg/kg s.s.]	CSR suolo profondo [mg/kg T.Q.]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC Residenziale [mg/kg s.s.]
Alifatici C5-C8	8,89E-01		8,89E-01	8,54E-01	---	1,00E+00	NA	1,00E+01
Alifatici C9-C18	8,06E+01		8,06E+01	7,74E+01	---	1,00E+00	NA	1,00E+01

In tabella n. 9 si riportano gli obiettivi di bonifica per il suolo profondo, mentre in figura n. 11 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.

Tab. n. 9 – Obiettivi di Bonifica SP - Sub area 1_Caso1

Contaminanti	mg/kg s.s.
Idrocarburi leggeri	1,00E+01
Idrocarburi pesanti	8,06E+01

Fig. n. 11 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SP- Sub area 1_Caso 1



Caso 2 – Aree Commerciali

Le sorgenti di contaminazione sono state individuate nel suolo superficiale e nel suolo profondo.

I percorsi di esposizione attivati sono la volatilizzazione indoor e outdoor, avendo considerato che l’area residenziale risulta quasi totalmente edificata ed i bersagli individuati sono i lavoratori.

Rispetto ai contaminati indicati nella tabella n. 4 sono stati selezionati i contaminanti volatili e semivolatili.

Le concentrazioni rappresentative delle sorgenti corrispondenti alle massime di tutta la sub-area 1 sono indicate nelle tabelle n. 10 e n. 11.

<i>Tab. n. 10 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SS</i>	
Contaminante	CRS (mg/kg)
Alifatici C9-C18	8,80E+02

Tab. n. 11 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SP

Contaminante	CRS (mg/kg)
Alifatici C5-C8	2,40E+01
Alifatici C9-C18	8,90E+01

Risultati - Caso 2

- Suolo superficiale

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell’esposizione a sostanze volatili presenti nel suolo superficiale ha evidenziato un Indice di pericolo non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 per inalazione indoor.

Nella figura n. 12 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile per l’indice di pericolo.

Fig. n. 12 – Valori dell’Indice di Pericolo SS - Sub area 1_Caso 2

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)
Alifatici C9-C18	8,80E+02	---		8,80E+02	---	---	1,91E+00

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione della CSR indicata nella figura n. 13, che rappresenta la concentrazione al di sotto della quale non si rileva un rischio di tipo sanitario.

Fig. n. 13 – Concentrazioni Soglia di Rischio SS - Sub area 1_Caso 2

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.]	CSR suolo superficiale [mg/kg T.Q.]	Rischio cancerogeno (R)	Indice di pericolo (HI)
Alifatici C9-C18	4,61E+02		4,61E+02	4,42E+02	---	1,00E+00

In figura n. 14 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.



- Suolo profondo

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell’esposizione a sostanze volatili presenti nel suolo profondo ha evidenziato un Indice di pericolo non accettabile per idrocarburi alifatici C5-C8 per inalazione indoor.

Nella figura n. 15 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile per l’indice di pericolo.

Fig. n. 15 – Valori dell’Indice di Pericolo SP - Sub area 1_Caso 2

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)
Alifatici C5-C8	2,40E+01	---		2,40E+01	---	---	4,72E+00
Alifatici C9-C18	8,90E+01	---		8,90E+01	---	---	1,93E-01

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	9,53E-02
Indoor	---	4,91E+00

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR indicate nella figura n. 16, che rappresentano le concentrazioni al di sotto delle quali non si rileva un rischio di tipo sanitario. La CSR degli alifatici C5-C8 risulta minore della CSC, pertanto quest’ultima rappresenta l’effettivo obiettivo di bonifica.

Fig. n. 16 – Concentrazioni Soglia di Rischio SP - Sub area 1_Caso 2

Contaminanti	CSR individual e [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo profondo [mg/kg s.s.]	CSR suolo profondo [mg/kg T.Q.]	Rischio Cancero geno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC Residenz iale [mg/kg s.s.]
Alifatici C5-C8	5,08E+00		5,08E+00	4,88E+00	---	1,00E+00	NA	1,00E+01
Alifatici C9-C18	4,61E+02		4,61E+02	4,42E+02	---	1,00E+00	NA	1,00E+01

In tabella n. 12 si riportano gli obiettivi di bonifica per il suolo profondo, mentre in figura n. 17 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.

Tab. n. 12 – Obiettivi di Bonifica SP

Contaminanti	mg/kg s.s.
Idrocarburi leggeri	1,00E+01

Fig. n. 17 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SP - Sub area 1_Caso 2



Caso 3 – Aree a verde residenziale

La sub area 1, così come descritto nel paragrafo n. 4, è caratterizzata oltre che da edifici residenziali e commerciali anche da poche aree a verde in corrispondenza di alcune abitazioni e di aree pubbliche. In questo caso, in via cautelativa, saranno considerate le aree a verde residenziale. Dal momento che l'esposizione alle sostanze volatili presenti nel suolo profondo è già stata valutata nel caso 1, in questo caso l'unica sorgente esaminata è il suolo superficiale. Le vie di esposizione attive sono l'ingestione, il contatto dermico, l'inalazione indoor e outdoor di polveri e vapori. I bersagli individuati sono ovviamente i residenti.

Le concentrazioni rappresentative della sorgenti corrispondenti alle massime di tutta la sub-area 1 sono indicate nella tabella n. 13.

Tab. n. 13 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SS

Contaminante	CRS (mg/kg)
Alifatici C9-C18	8,80E+02
Berillio	6,40E+00
Piombo	2,14E+03
Rame	1,24E+02
Benzo(a)antracene	1,14E+00
Benzo(a)pirene	1,54E+00
Benzo(b)fluorantene	1,75E+00
Benzo(g,h,i)perilene	1,16E+00
Benzo(k)fluorantene	1,28E+00
Dibenzo(a,e)pirene	2,80E-01
Dibenzo(a,h)antracene	3,40E-01
Dibenzo(a,i)pirene	1,60E-01
Dibenzo(a,l)pirene	6,60E-01
Indenopirene	1,29E+00
Arsenico	3,60E+01

Risultati - Caso 3

- Suolo superficiale

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

- Rischio non accettabile da ingestione di suolo per Piombo, Arsenico, e Benzo(a)antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Dibenzo(a,h)antracene, Dibenzo(a,l)pirene, Indenopirene;
- Rischio non accettabile da contatto dermico con il suolo per Arsenico, Benzo(a)pirene, Dibenzo(a,h)antracene, Dibenzo(a,l)pirene;
- Indice di pericolo non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 per inalazione indoor.

Nella figura n. 18 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.

Fig. n. 18 – Valori Rischio SS - Sub area 1_Caso 3

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)	
Alifatici C9-C18	8,80E+02	---		8,80E+02	---	---	1,09E+01	
Berillio	6,40E+00	---		6,40E+00	---	1,61E-10	4,21E-02	
Piombo	2,14E+03	---		2,14E+03	---	---	8,04E+00	
Rame	1,24E+02	---		1,24E+02	---	---	4,07E-02	
Benzo(a)antracene	1,14E+00	---		1,14E+00	---	1,88E-06	---	
Benzo(a)pirene	1,54E+00	---		1,54E+00	---	5,85E-05	---	
Benzo(b)fluorantene	1,75E+00	---		1,75E+00	---	2,83E-06	---	
Benzo(g,h,i)perilene	1,16E+00	---		1,16E+00	---	---	7,01E-04	
Benzo(k)fluorantene	1,28E+00	---		1,28E+00	---	2,07E-06	---	
Dibenzo(a,e)pirene	2,80E-01	---		2,80E-01	---	---	1,64E-04	
Dibenzo(a,h)antracene	3,40E-01	---		3,40E-01	---	1,29E-05	---	
Dibenzo(a,i)pirene	1,60E-01	---		1,60E-01	---	2,58E-07	---	
Dibenzo(a,l)pirene	6,60E-01	---		6,60E-01	---	1,06E-05	---	
Indenopirene	1,29E+00	---		1,29E+00	---	2,08E-06	---	
Arsenico	3,60E+01	---		3,60E+01	---	9,25E-05	1,66E+00	
						On-site	R tot	HI tot
						Outdoor	1,84E-04	1,06E+01
						Indoor	3,49E-09	1,09E+01

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR indicate nella figura n. 19, che rappresentano le concentrazione per cui non si rileva un rischio di tipo sanitario.

Fig. n. 19 – Concentrazioni Soglia di Rischio SS - Sub area 1_Caso 3

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.]	CSR suolo superficiale [mg/kg T.Q.]	Rischio cancerogeno (R)	Indice di pericolo (HI)	Rischio Risorsa Idrica (RGW)	CSC Residenziali [mg/kg s.s.]
Alifatici C9-C18	8,06E+01		8,06E+01	7,74E+01	---	1,00E+00	NA	1,00E+01
Berillio	1,52E+02		1,52E+02	1,46E+02	3,81E-09	9,97E-01	NA	2,00E+00
Piombo	2,66E+02		2,66E+02	2,56E+02	---	1,00E+00	NA	1,00E+02
Rame	3,04E+03		3,04E+03	2,92E+03	---	1,00E+00	NA	1,20E+02
Benzo(a)antracene	6,07E-01		6,07E-01	5,82E-01	1,00E-06	---	NA	5,00E-01
Benzo(a)pirene	2,63E-02		2,63E-02	2,53E-02	1,00E-06	---	NA	1,00E-01
Benzo(b)fluorantene	6,19E-01		6,19E-01	5,94E-01	1,00E-06	---	NA	5,00E-01
Benzo(g,h,i)perilene	1,66E+03		1,66E+03	1,59E+03	---	1,00E+00	NA	1,00E-01
Benzo(k)fluorantene	6,19E-01		6,19E-01	5,94E-01	1,00E-06	---	NA	5,00E-01
Dibenzo(a,e)pirene	1,71E+03		1,71E+03	1,64E+03	---	1,00E+00	NA	1,00E-01
Dibenzo(a,h)antracene	2,63E-02		2,63E-02	2,53E-02	1,00E-06	---	NA	1,00E-01
Dibenzo(a,i)pirene	6,20E-01		6,20E-01	5,95E-01	1,00E-06	---	NA	1,00E-01
Dibenzo(a,l)pirene	6,20E-02		6,20E-02	5,95E-02	1,00E-06	---	NA	1,00E-01
Indenopirene	6,20E-01		6,20E-01	5,95E-01	1,00E-06	---	NA	1,00E-01
Arsenico	3,89E-01		3,89E-01	3,73E-01	1,00E-06	1,80E-02	NA	2,00E+01
				On-site	R tot	HI tot		
				Outdoor	9,00E-06	5,09E+00		
				Indoor	4,47E-09	1,00E+00		

Le CSR di Benzo(a)pirene, Dibenzo(a,h)antracene, Dibenzo(a,l)pirene, ed Arsenico sono inferiori alle rispettive CSC, pertanto queste ultime rappresentano gli effettivi obiettivi di bonifica.

Al fine di verificare il rispetto del rischio cumulato è stata implementata un'analisi di rischio in modalità diretta in cui:

- sono state eliminate le sostanze con obiettivo di bonifica pari alla CSC;
- sono state inserite le CRS per le sostanze che non danno rischio singolo;
- sono state inserite le CSR per tutte le sostanze che danno rischio singolo;
- è stato apportato un fattore di correzione al fine di ridurre la CSR del Piombo per raggiungere il rispetto del rischio cumulato.

In figura n. 20 si riportano i risultati ottenuti.

Fig. n. 20 – Rischio cumulato SS - Sub area 1_Caso 3

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)
Alifatici C9-C18	8,06E+01	---		8,06E+01	---	---	1,00E+00
Berillio	6,40E+00	---		6,40E+00	---	1,61E-10	4,21E-02
Piombo	2,66E+02	---	1,20E+00	2,22E+02	---	---	8,32E-01
Rame	1,24E+02	---		1,24E+02	---	---	4,07E-02
Benzo(a)antracene	6,07E-01	---		6,07E-01	---	1,00E-06	---
Benzo(b)fluorantene	6,19E-01	---		6,19E-01	---	1,00E-06	---
Benzo(g,h,i)perilene	1,16E+00	---		1,16E+00	---	---	7,01E-04
Benzo(k)fluorantene	6,19E-01	---		6,19E-01	---	1,00E-06	---
Dibenzo(a,e)pirene	2,80E-01	---		2,80E-01	---	---	1,64E-04
Dibenzo(a,i)pirene	1,60E-01	---		1,60E-01	---	2,58E-07	---
Indenopirene	6,20E-01	---		6,20E-01	---	1,00E-06	---
					On-site	R tot	HI tot
					Outdoor	4,26E-06	9,91E-01
					Indoor	7,91E-10	1,00E+00

In tabella n. 14 si riportano gli obiettivi di bonifica per il suolo superficiale, mentre in figura n. 21 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.

Tab. n. 14 – Obiettivi di Bonifica SS

Contaminanti	mg/kg s.s.
Alifatici C9-C18	8,06E+01
Berillio	6,40E+00
Piombo	2,22E+02
Rame	1,24E+02
Benzo(a)antracene	6,07E-01
Benzo(a)pirene	1,00E-01
Benzo(b)fluorantene	6,19E-01
Benzo(g,h,i)perilene	1,16E+00
Benzo(k)fluorantene	6,19E-01
Dibenzo(a,e)pirene	2,80E-01
Dibenzo(a,h)antracene	1,00E-01
Dibenzo(a,i)pirene	1,60E-01
Dibenzo(a,l)pirene	1,00E-01
Indenopirene	6,20E-01
Arsenico	2,00E+01

Fig. n. 21 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS - Sub area 1_Caso 3



4.5 Conclusioni

Caso 1 e Caso 2

L'applicazione dell'analisi di rischio alla sub area 1 nei casi 1 e 2 ha mostrato che le CSR ottenute nel caso 1 sono inferiori alle CSR del caso 2, pertanto il caso 1 presenta uno scenario decisamente più cautelativo del caso 2, ossia il bersaglio residenziale in edificio rialzato è esposto ad un rischio maggiore per inalazione del bersaglio lavoratore in edificio completamente interrato. Nella determinazione degli interventi da attuare si dovrà tenere pertanto conto del caso più conservativo (caso 1), per il quale è presente un rischio non accettabile per la presenza di idrocarburi leggeri e pesanti nel suolo profondo e solo pesanti in quello superficiale. In corrispondenza delle aree che presentano concentrazioni di idrocarburi maggiori degli obiettivi di bonifica, secondo quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 e smi, devono essere attuati idonei interventi di bonifica. Tuttavia è necessario effettuare alcune considerazioni in merito ai risultati ottenuti ai fini della scelta delle soluzioni più efficaci per gli interventi da attuare:

- dalla fase di caratterizzazione ambientale del sito è intercorso un considerevole lasso di tempo (circa 7 anni);

- 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;
- 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.

Ai fini della tutela della salute umana di coloro che risiedono nella sub area 1, si ritiene che debbano essere intraprese le seguenti azioni:

- verifica attraverso analisi di speciazione delle frazioni idrocarburiche effettivamente presenti ai fini dell'attivazione del percorso di volatilizzazione e della scelta delle proprietà chimico fisiche e tossicologiche maggiormente appropriate;
- misure dirette dei vapori provenienti dai suoli e utilizzo di dati di campo (misure di soil gas, campionamenti dell'aria indoor e outdoor) per la verifica dei risultati ottenuti con l'applicazione modellistica per la valutazione dell'efficacia – efficienza delle eventuali misure di prevenzione e degli eventuali interventi di bonifica da attuare.
- individuare le effettive sorgenti primarie della contaminazione, se ancora presenti.

Caso 3

L'applicazione dell'analisi di rischio alla sub area 1 nel caso 3 ha mostrato un rischio non accettabile per Arsenico, Piombo, la maggior parte degli IPA presenti e per idrocarburi. In corrispondenza delle aree che presentano concentrazioni delle suddette sostanze maggiori degli obiettivi di bonifica, secondo quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 e smi, devono essere attuati idonei interventi di bonifica. Tuttavia è necessario effettuare alcune considerazioni in merito ai risultati ottenuti ai fini della scelta delle soluzioni più efficaci per gli interventi da attuare:

- dalla fase di caratterizzazione ambientale del sito è intercorso un considerevole lasso di tempo (circa 7 anni);
- i sondaggi sono stati eseguiti in corrispondenza di strade che rappresentano zone maggiormente esposte alla contaminazione di origine antropica e non nelle aree a verde residenziale oggetto del caso studio 3 della presente analisi di rischio;
- 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;

- 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;
- la presenza di arsenico può essere attribuita alle caratteristiche idrogeologiche dell’area;
- gli IPA e gli idrocarburi rappresentano inquinanti tipici di aree urbanizzate che si originano dal traffico veicolare, da impianti termici ecc..

Ai fini della tutela della salute umana di coloro che risiedono nella sub area 1, si ritiene che debbano essere intraprese le seguenti azioni:

- misure dirette dei vapori provenienti dai suoli e utilizzo di dati di campo (misure di soil gas, campionamenti dell’aria indoor e outdoor) per la verifica dei risultati ottenuti con l’applicazione modellistica per la valutazione dell’efficacia – efficienza delle eventuali misure di prevenzione e degli eventuali interventi di bonifica da attuare;
- eventuali approfondimenti analitici nelle aree a verde residenziale in corrispondenza dei punti maggiormente critici;
- verifica dei valori degli inquinanti attraverso i dati per il monitoraggio della qualità dell’aria;
- individuazione delle effettive sorgenti primarie della contaminazione, se ancora presenti;
- verifica attraverso analisi di speciazione delle frazioni idrocarburiche effettivamente presenti ai fini dell’attivazione del percorso di volatilizzazione e della scelta delle proprietà chimico fisiche e tossicologiche maggiormente appropriate.

5. SUB AREA 2

L'area, individuata territorialmente nell'ambito Cavalleggeri, ha una superficie pari a 504.444 mq., ed è compresa tra via Campegna ad est e via Circumvallazione ad ovest, gli impianti sportivi del Cus, il Poligono e l'Arsenale Militare a sud, mentre a nord è definita dal fascio dei binari e dalla omonima stazione FS. L'area è quasi per intero occupata da insediamenti abitativi (circa il 70%), per lo più pubblici e di impianto recente. La via Cavalleggeri d'Aosta, divide l'area in due parti e, al contempo, separa due diverse tipologie abitative. A est palazzine semintensive di due o tre piani con strade alberate e ampi spazi privati a verde; a ovest edifici più alti, con cinque o sei piani, nella totale mancanza di spazi verdi. La chiusura degli impianti industriali ha migliorato non poco le condizioni ambientali dell'area.

Dalla descrizione è confermato il carattere fortemente residenziale con la quasi totale assenza di aree produttive/mercati, scarsissima la presenza di verde pubblico ed aree ad uso agricolo. Infine rientrano nel perimetro gli impianti sportivi del Cus

Dal punto di vista urbanistico, l'area in esame è regolamentata dalla seguente documentazione:

- Variante urbanistica per l'area occidentale, approvata dalla Regione Campania nell'aprile 1998;
- Variante al PRG del comune di Napoli, approvata con Decreto del Presidente della Giunta Regione Campania n. 323 del 11 giugno 2004.

Le scelte operate nelle varianti al P.R.G rispondono ad una strategia finalizzata al raggiungimento di due obiettivi principali:

- la salvaguardia dell'ambiente naturale e degli insediamenti storici, da perseguire attraverso la tutela ed il ripristino dell'integrità fisica e dell'identità culturale del territorio;
- la riqualificazione degli insediamenti esistenti e delle aree dismesse attraverso la dotazione di spazi pubblici, attrezzature e insediamenti integrati (residenziali e produttivi, connessi al turismo e alla ricerca al commercio e all'artigianato).

La destinazione urbanistica della Sub area 2 – Ambito Cavalleggeri è identificata nella zonizzazione della Variante per l'area occidentale al PRG del comune di Napoli come zona “nB” (Agglomerati urbani di recente formazione), mentre nella Variante del 2004 come zona “Bb” (Agglomerati urbani di recente formazione), così come indicato nell'allegato 15.

Ai fini dell'elaborazione dell'analisi di rischio, lo scenario attuale coincide con quello futuro, dato che l'area è caratterizzata per la maggiore da residenze.

5.1 Indagini dirette

Nell’ambito dell’area in esame le attività hanno riguardato la realizzazione di n. 25 sondaggi geognostici con tecnica a carotaggio continuo, di cui n. 7 completati a pozzi di monitoraggio della falda, distinti a seguire in funzione della profondità:

- C4N, C15N, C34N, C45N, C67N, C69N, C70N, C111N, C112, C114, C116N, C118, C119N, C120N, C121, C122N, C123N, C124, spinti fino ad profondità di 15 m. da p.c.;
- PS8N, PS16N, PS17N, PS19N, PS20, PS26N spinti fino ad profondità di 21 m. da p.c.;
- PP7, spinto fino ad una profondità di 45 m. da p.c.

Nella scelta dell’ubicazione dei sondaggi si è tenuto conto dei punti a maggiore criticità secondo un sistema ragionato di campionamento e dei risultati delle indagini indirette.

Nel corso dell’indagine ambientale è stato effettuato, il prelievo di campioni di terreno ed di acque sotterranee, secondo quanto previsto dall’ex D.M. 471/99, successivamente sottoposti ad analisi chimiche di laboratorio per la ricerca degli analiti elencati nel relativo Piano della Caratterizzazione, di cui al paragrafo 2.4 della presente.

Dai sondaggi sono stati prelevati n. 75 campioni di terreno e 12 campioni di top soil (C4N-TS, C34N-TS, C45N-TS, C67N-TS, C69N-TS, C70N-TS, C111N-TS, C112-TS, C116-TS, C118-TS, C120-TS e PS20-TS ad una profondità di 0,0 – 0,15 m.), destinati ad analisi di laboratorio per verificare lo stato qualitativo dei terreni dell’area in oggetto.

Da tutti i sondaggi ad eccezione del sondaggio C120, i campioni di suolo sono stati prelevati alle seguenti profondità:

- un campione rappresentativo del suolo superficiale e profondo (0,5 – 1,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (1,5 – 2,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (3,5 – 5,0 m. di profondità da p.c.).

Dal sondaggio C120, i campioni di suolo sono stati prelevati alle seguenti profondità:

- un campione rappresentativo del suolo superficiale (0,0 – 0,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (1,5 – 2,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (3,5 – 5,0 m. di profondità da p.c.).

Nella figura n. 22 sono rappresentati su ortofoto l’area ed i sondaggi eseguiti in base al Piano di Indagine.



5.2 Risultati analisi chimiche

I risultati delle analisi chimiche eseguite sui campioni di suolo e di sottosuolo 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 verde pubblico privato e residenziale dell’area.

Dall’elaborazione dei dati contenuti nell’allegato 8, sono stati estrapolati i valori dove si è riscontrato il superamento dei limiti di riferimento. Le relative concentrazioni sono state inserite nella tabella n. 15, dove si riportano gli analiti, il carotaggio/piezometro di riferimento, le coordinate geografiche, la profondità del campione, i limiti di riferimento e la data di esecuzione:

Tab. n. 15 – Superamenti Suoli sub area 2

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A (mg/kg)					20	6,3	1	100	50	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,06					
Sondaggio	Coord_X	Coord_Y	Soggiacenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Berillio	Mercurio	Piombo	Idrocarburi C < 12	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Benzo (k) fluorantene	Dibenzo (a,e) pirene	Dibenzo (a,h) antracene	Dibenzo (a,h) pirene	Dibenzo (a,i) pirene	Dibenzo (a,i) pirene	Indeno (1,2,3-cd) pirene	PCB Totali			
C15N C2	431429	4518549	9,00	0,5 - 1,5	08/11/2007					104	1,18	0,88	0,98	0,63	0,6	0,11	0,15		0,12	0,24	1,12				
C15N C3				1,50- 2,50																					
C15N C5				3,50- 5,00		6,6																			
PS8N C2	431518	4518273	7,30	0,5 - 1,5	07/11/2007							0,27		0,21								0,33			
PS8N C3				1,5 - 2,5																					
PS8N C5				3,5 - 5																					
C122N C2	431439	4518413	9,00	0,5 - 1,5	07/11/2007					70															
C122N C3				1,50- 2,50		7																			
C122N C5				3,50- 5,00		8,1																			

Tab. n. 15 – Superamenti Suoli sub area 2

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A (mg/kg)		20	6,3	1	100	50	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,06							
Sondaggio	Coord_X	Coord_Y	Soggiacenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Berillio	Mercurio	Piombo	Idrocarburi C < 12	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Benzo (k) fluorantene	Dibenzo (a,e) pirene	Dibenzo (a,h) antracene	Dibenzo (a,h) pirene	Dibenzo (a,i) pirene	Dibenzo (a,l) pirene	Indeno (1,2,3-cd) pirene	PCB Totali				
PS19 C2	431268	4518542	9,22	0,5 - 1,5	13/11/2007	24						0,37		0,3								0,4				
PS19 C3				1,50- 2,50																						
PS19 C5				3,50- 5,00			6,7																			
C34N C2	431649	4518852	Sogg. > 5	0,5 - 1,5	14/01/2008					91																
C34N C3				1,5 - 2,5				106	70																	
C34N C5				3,5 - 5																						
C45N C2	431954	4518824	Sogg. > 5	0,5 - 1,5	22/01/2008					59*																
C45N C3				1,5 - 2,5						0,20		0,15											0,13			
C45N C5				3,5 - 5																						

Tab. n. 15 – Superamenti Suoli sub area 2

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A (mg/kg)						20	6,3	1	100	50	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,06			
Sondaggio	Coord_X	Coord_Y	Soggiacenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Berillio	Mercurio	Piombo	Idrocarburi C < 12	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Benzo (k) fluorantene	Dibenzo (a,e) pirene	Dibenzo (a,h) antracene	Dibenzo (a,h) pirene	Dibenzo (a,i) pirene	Dibenzo (a,l) pirene	Indeno (1,2,3 –cd) pirene	PCB Totali		
PS26N C2	431708	4518703	15	0,5 - 1,5	23/01/2008			3		126														
PS26N C3				1,5 - 2,5						3,8														
PS26N C5				3,5 - 5,0																				
C69N C2	431644	4518370	10,50	0,5 - 1,5	22/11/2007				105		0,28			0,21							0,11	0,23		
C69N C3				1,5 - 2,5																				
C69N C5				3,5 - 5																				
C70N C2	431571	4518425	11,50	0,5 - 1,5	22/11/2007					55														
C70N C3				1,5 - 2,5																				
C70N C5				3,5 - 5																				

Tab. n. 15 – Superamenti Suoli sub area 2

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A (mg/kg)						20	6,3	1	100	50	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,06			
Sondaggio	Coord_X	Coord_Y	Soggiacenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Berillio	Mercurio	Piombo	Idrocarburi C < 12	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Benzo (k) fluorantene	Dibenzo (a,e) pirene	Dibenzo (a,h) antracene	Dibenzo (a,h) pirene	Dibenzo (a,i) pirene	Dibenzo (a,l) pirene	Indeno (1,2,3 –cd) pirene	PCB Totali		
PS17N C2	432072	4518956	15,70	0,5 - 1,5	18/01/2008					101														
PS17N C3				1,5 - 2,5				81																
PS17N C5				3,5 - 5,0				79																
C114 C2	431868	4518944	Sogg. > 5	0,5 - 1,5	22/01/2008						0,14		0,13											
C114 C3				1,5 - 2,5				92	0,13															
C114 C5				3,5 - 5,0																				
C118N C2	431611	4518696	Sogg. > 5	0,5 - 1,5	15/01/2008					60														
C118N C3				1,5 - 2,5																				
C118N C5				3,5 - 5																				

Tab. n. 15 – Superamenti Suoli sub area 2

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A (mg/kg)						20	6,3	1	100	50	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,06				
Sondaggio	Coord_X	Coord_Y	Soggiacenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Berillio	Mercurio	Piombo	Idrocarburi C < 12	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Benzo (k) fluorantene	Dibenzo (a,e) pirene	Dibenzo (a,h) antracene	Dibenzo (a,h) pirene	Dibenzo (a,i) pirene	Dibenzo (a,l) pirene	Indeno (1,2,3 –cd) pirene	PCB Totali			
C119N C2	431836	4518735	Sogg. > 5	0,5 - 1,5	14/01/2008					81		0,15		0,12								0,11			
C119N C3				1,5 - 2,5							151	1,39	1,17	1,89	0,79		0,24	0,27	0,13	0,25	0,51	0,83			
C119N C5				3,5 - 5					181	62		0,14		0,12											
C120N C1	431301	4518744	Sogg. > 5	0,0 - 0,5	28/01/2008																	0,089			
C120N C3				1,5 - 2,5																					
C120N C5				3,5 - 5																					
C121 C2	431617	4518523	9,00	0,5 - 1,5	21/11/2007							0,25		0,26								0,39			
C121 C3				1,5 - 2,5										0,148*		0,168*								0,163*	
C121 C5				3,5 - 5		21*								0,11											

* valore da validazione ARPAC

5.3 Parametri Sito Specifici

5.3.1 Parametri di idrogeologia locale

Il flusso idrico sotterraneo è caratterizzato dalla presenza di falde sovrapposte, in cui le caratteristiche litologiche, geometriche e meccaniche dei terreni (materiali di riporto, depositi palustri limosi e torbosi, sabbie e limi marini, depositi vulcanici e sabbie costiere) sono tali da determinare un grado di permeabilità variabile e, nel contempo, l'assenza di veri e propri livelli impermeabili, per cui le varie falde sono tra di loro interconnesse.

La direzione di flusso preferenziale della falda è da Nord Est – Sud Ovest con un gradiente medio dell'ordine dello 0,3%. L'acquifero intercettato è posto a profondità medie comprese tra i 6,70 e i 14,48 m. dal piano campagna, valori di soggiacenza definiti in base all'elaborazione dei dati contenuti negli allegati 12 e 13 e riportati nella tabella n. 16:

<i>Tab. n. 16 – Valori di soggiacenza falda</i>	
Piezometro	Soggiacenza da p.c. (m)
PP7	11,60
PS8N	7,90
PS16N	11,25
PS17N	14,48
PS20	11,38
PS26N	10,30
PS19N	6,70

5.3.2 Granulometria/tessitura del suolo

Dall'esame delle stratigrafie, riportate nell'allegato 10, è possibile sintetizzare per ogni singolo sondaggio/piezometro la seguente successione litologica.

Per il sondaggio C4N:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da materiale ghiaioso, asfalto e pezzi di ceramica;
- da 0,50 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;
- da 5,00 a 9,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta debolmente limosa di colore grigio con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;

- da 9,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia sciolta di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.

Per il sondaggio C15N:

- da 0,00 a 0,80 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da materiali plastici, ferro, ceramiche e laterizi.;
- da 0,80 a 7,50 m. circa da p.c.: sabbia marrone ricca in pomice debolmente limosa.;
- da 7,50 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana grigio-marrone con presenza di pomici.

Per il sondaggio C34N:

- da 0,00 a 1,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, ghiaia, frammenti di asfalto e ceramica, pezzi di ferro;
- da 1,50 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici di diametro millimetrico, poco addensata;
- da 5,00 a 13,00 m. circa da p.c.: sabbia debolmente limosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche, poco addensata.;
- da 13,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, poco addensata.

Per il sondaggio C45N:

- da 0,00 a 1,50 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale fine sciolto;
- da 1,50 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta limosa di colore grigio-marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;
- da 5,00 a 13,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;
- da 13,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta limosa di colore grigio con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.

Per il sondaggio C67N:

- da 0,00 a 1,80 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale fine, sciolto;
- da 1,80 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.;
- da 5,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta debolmente limosa di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.

Per il sondaggio C69N:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia fine, asfalto, ceramica, vetro, pezzi di ferro e frammenti lateritici;

- da 0,50 a 8,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici di diametro millimetrico, poco addensata.;
- da 8,00 a 10,50 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore grigia con presenza di pomici di diametro millimetrico, mediamente addensata.;
- da 10,50 a 13,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore grigio con presenza di pomici di diametro millimetrico, poco addensata.;
- da 13,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici di diametro millimetrico, mediamente addensata.

Per il sondaggio C70N:

- da 0,00 a 1,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, ghiaietto, asfalto e frammenti lateritici.;
- da 1,50 a 8,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici di diametro millimetrico, poco addensata.;
- da 8,00 a 10,50 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore grigio-marrone con presenza di pomici di diametro millimetrico, mediamente addensata.;
- da 10,50 a 13,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici di diametro millimetrico, poco addensata.;
- da 13,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici di diametro millimetrico, mediamente addensata.

Per il sondaggio C111N:

- da 0,00 a 0,80 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia ghiaiosa, asfalto, ceramica, pezzi di ferro.;
- da 0,80 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone scuro con presenza di pomici di diametro millimetrico, poco addensata.;
- da 5,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici di diametro millimetrico, poco addensata.

Per il sondaggio C112:

- da 0,00 a 1,00 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale fine sciolto.;
- da 1,00 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.;
- da 5,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta limosa di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.

Per il sondaggio C 114:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia e ghiaia con presenza di frammenti lateritici.;
- da 0,50 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta di colore marrone con presenza di pomici millimetriche;
- da 5,00 a 10,00 m. circa da p.c.: sabbia fine limosa, sciolta, di colore marrone;
- da 10,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia fine limosa sciolta di colore marrone con presenza di pomici eterometriche.

Per il sondaggio C116N:

- da 0,00 a 1,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, asfalto, ceramica, frammenti di ferro;
- da 1,50 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia debolmente limosa di colore marrone con presenza di pomici di diametro millimetrico, poco addensata.

Per il sondaggio C118:

- da 0,00 a 1,00 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale fine sciolto;
- da 1,00 a 3,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;
- da 3,00 a 7,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta limosa di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;
- da 7,00 a 13,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta di colore marrone;
- da 13,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta limosa di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.

Per il sondaggio C119N:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale fine sciolto;
- da 0,50 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;
- da 5,00 a 12,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta debolmente limosa di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;
- da 12,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.

Per il sondaggio C120:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale fine sciolto;

- da 0,50 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;
- da 4,00 a 10,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta limosa di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;
- da 10,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta di colore marrone.

Per il sondaggio C121:

- da 0,00 a 1,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, pezzi di ceramica e ferro;
- da 1,50 a 8,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone ricca di pomici di dimensioni millimetriche;
- da 8,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia fine debolmente limosa di colore grigio ricca di pomici di dimensioni millimetriche.

Per il sondaggio C122N:

- da 0,00 a 1,80 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, frammenti plastici di ferro e ceramici, nonché frammenti lateritici;
- da 1,80 a 7,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone ricca in pomice;
- da 7,00 a 7,50 m. circa da p.c.: sabbia grossolana colore grigio, presenza di pomici;
- da 7,50 a 8,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore grigio scuro, presenza di pomici;
- da 8,00 a 8,50 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore grigio scuro, ricca in pomici;
- da 8,50 a 9,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore giallognola ben addensata;
- da 9,00 a 10,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore grigio ricca in pomice;
- da 10,00 a 11,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore giallognola ben addensata;
- da 11,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore grigio ricca in pomice.

Per il sondaggio C123:

- da 0,00 a 1,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, frammenti di asfalto e ceramica, vetro, pezzi di ferro, laterizi;
- da 1,50 a 10,50 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici di diametro millimetrico, poco addensata;
- da 10,50 a 13,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore nocciola con presenza di pomici di diametro millimetrico, poco addensata;
- da 13,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia marrone-nocciola con presenza di pomici di diametro millimetrico, mediamente addensata.

Per il sondaggio C124:

- da 0,00 a 1,00 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, frammenti di asfalto e laterizi, presenza di frustoli vegetali;
- da 1,00 a 3,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana poco addensata di colore marrone scuro con presenza di clasti etero metrici;
- da 3,00 a 7,00 m. circa da p.c.: sabbia media poco addensata di colore marrone chiaro con clasti etero metrici;
- da 7,00 a 10,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore marrone scuro mediamente addensata (livello di Limo e Sabbia tra 8,20 - 8,70 m) con clasti eterometrici;
- da 10,00 a 13,80 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta di colore verde con clasti millimetrici;
- da 13,80 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana mediamente addensata di colore marrone scuro con rari clasti millimetrici.

Per il sondaggio PP7:

- da 0,00 a 0,90 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da limo sabbioso con pomici eterometriche;
- da 0,90 a 8,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche;
- da 8,00 a 9,00 m. circa da p.c.: paleosuolo costituito da sabbia limosa di colore marrone scuro con presenza di pomici millimetriche;
- da 9,00 a 10,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore grigio chiaro ricca di pomici millimetriche;
- da 10,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone chiaro con presenza di pomici millimetriche;
- da 15,00 a 29,60 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone-rossastro con presenza di pomici millimetriche;
- da 29,60 a 31,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore grigio-giallastro con presenza di pomici millimetriche;
- da 31,50 a 33,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche;
- da 33,00 a 35,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore grigio chiaro;
- da 35,00 a 38,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche;
- da 38,00 a 45,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche.

Per il sondaggio PS8N:

- da 0,00 a 1,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia e ghiaia di colore giallastro;
- da 1,50 a 8,50 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, poco addensata;
- da 8,50 a 10,80 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore marrone con presenza di pomici eterometriche;
- da 10,80 a 12,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, addensata;
- da 12,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone, poco addensata;
- da 15,00 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore marrone con presenza di pomici eterometriche, poco addensata.

Per il sondaggio PS16N:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia e ghiaia sciolte con rari frammenti di laterizi millimetrici;
- da 0,50 a 8,00 m. circa da p.c.: sabbia fine, mediamente addensata, di colore marrone, con presenza di pomici millimetriche;
- da 8,00 a 9,50 m. circa da p.c.: sabbia fine, mediamente addensata, di colore marrone chiaro, con presenza di pomici millimetriche;
- da 9,50 a 10,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa, mediamente addensata, di colore giallastro;
- da 10,50 a 12,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa, mediamente consistente, di colore marrone chiaro;
- da 12,00 a 13,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa, mediamente addensata, di colore marrone scuro;
- da 13,00 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone chiaro, con presenza di pomici eterometriche.

Per il sondaggio PS17N:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia e ghiaia sciolte e frammenti di laterizi;
- da 0,50 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia fine, mediamente addensata, di colore marrone scuro;
- da 5,00 a 6,00 m. circa da p.c.: sabbia fine, mediamente addensata, di colore marrone chiaro;
- da 6,00 a 9,00 m. circa da p.c.: sabbia fine, mediamente addensata, di colore marrone scuro;
- da 9,00 a 10,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa, poco consistente, di colore marrone chiaro;
- da 10,50 a 11,00 m. circa da p.c.: livello ghiaioso-sabbioso ocra;
- da 11,60 a 12,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa, poco consistente, di colore marrone chiaro;
- da 12,50 a 14,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa, mediamente addensata, di colore marrone;

- da 14,00 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa, mediamente addensata, di colore marrone, con presenza di pomici millimetriche.

Per il sondaggio PS20:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia e ghiaia;
- da 0,50 a 12,00 m. circa da p.c.: sabbia fine, colore marrone, mediamente addensata;
- da 12,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana, di colore marrone, presenza di pomici eterometriche poco addensata;
- da 15,00 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone, presenza di pomici eterometriche poco addensata.

Per il sondaggio PS26N:

- da 0,00 a 3,00 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da sabbia fine con frammenti di conglomerato cementizio;
- da 3,00 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine, mediamente addensata, di colore marrone chiaro;
- da 4,00 a 8,00 m. circa da p.c.: sabbia fine, mediamente addensata, di colore marrone chiaro, con diffusa presenza di pomici da millimetriche a centimetri che;
- da 8,00 a 12,40 m. circa da p.c.: sabbia limosa, mediamente addensata, di colore marrone chiaro con presenza di pomici millimetriche;
- da 12,40 a 16,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone chiaro;
- da 16,50 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia fine mediamente addensata, di colore marrone scuro.

Per il sondaggio PS19N:

- da 0,00 a 2,80 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia con ghiaia;
- da 2,80 a 8,40 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici;
- da 8,40 a 9,00 m. circa da p.c.: paleosuolo costituito da sabbia di colore nero con presenza di pomici;
- da 9,00 a 10,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone debolmente limosa;
- da 10,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone ricca di pomici;
- da 15,00 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore marrone.

Dall'analisi delle suindicate stratigrafie è possibile individuare tre orizzonti principali, classificando i terreni nel seguente modo:

- orizzonte A, costituito da materiale di riporto composto da sabbia ghiaiosa e limosa, frammenti vulcanici e residui di demolizioni, con spessori variabili da 0,00/0,50 m. a 0,00/3,00 m.;
- orizzonte B, classificabile per la maggiore come sabbia fine limosa o debolmente limosa, con spessori variabili fino a 15,00 m. dal p.c. (fondo foro dei sondaggi non attrezzati a piezometro);

- orizzonte C, classificabile per la maggiore come sabbia ghiaiosa con spessori variabili fino a 45,00 m. dal p.c. (fondo foro del piezometro PP7).

5.4 Modello concettuale sito specifico e risultati

Per la definizione del modello concettuale sono stati individuati n. 2 casi in base al tipo al percorso di esposizione attivato.

- caso 1: bersaglio residenziale;
- caso 2: area a verde residenziale.

Per profondo insaturo si è ipotizzato uno spessore pari a 14,5 m. (Profondità della base della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.).

Caso 1 – Aree Residenziali

Le sorgenti di contaminazione sono state individuate nel suolo superficiale e nel suolo profondo. I percorsi di esposizione attivati sono la volatilizzazione indoor e outdoor, avendo considerato che l'area residenziale risulta quasi totalmente edificata. I bersagli individuati sono i residenti. Lo scenario di esposizione con bersagli lavoratori non è stato esaminato in quanto nella sub area 1 è stato verificato che risulta comunque maggiormente cautelativo lo scenario residenziale a prescindere dalle caratteristiche degli edifici.

Le concentrazioni rappresentative delle sorgenti corrispondenti alle massime di tutta la sub-area 2 sono indicate nelle tabelle n. 17 e n. 18.

<i>Tab. n. 17 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SS</i>	
Contaminante	CRS (mg/kg)
Alifatici C9-C18	1,26E+02
Mercurio elementare	3,00E+00
PCB Tot.	8,90E-02

<i>Tab. n. 18 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SP</i>	
Contaminante	CRS (mg/kg)
Alifatici C9-C18	1,51E+02
Mercurio elementare	3,80E+00

Risultati - Caso 1

- Suolo superficiale

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell’esposizione a sostanze volatili presenti nel suolo superficiale ha evidenziato Rischio non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 e Mercurio per inalazione indoor e solo per Mercurio per inalazione outdoor;

Nella figura n. 23 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile per l’indice di pericolo.

Fig. n. 23 – Valori Rischio SS - Sub area 2_Caso 1

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)
Alifatici C9-C18	1,26E+02	---		1,26E+02	---	---	3,13E+00
Mercurio elementare	3,00E+00	---		3,00E+00	---	---	1,92E+01
PCB Tot.	8,90E-02	---		8,90E-02	---	9,29E-08	---

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione della CSR indicata nella figura n. 24, che rappresentano le concentrazioni al di sotto delle quali non si rileva un rischio di tipo sanitario.

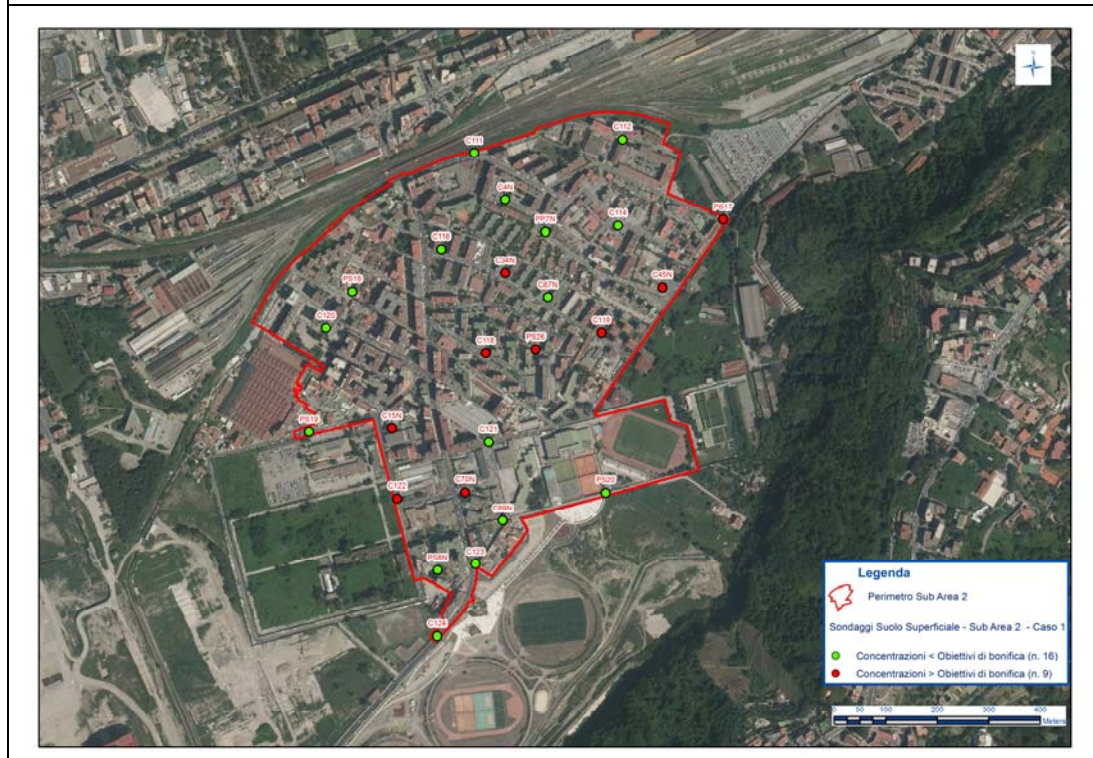
Fig. n. 24 – Concentrazioni Soglia di Rischio SS - Sub area 2_Caso 1

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.]	CSR suolo superficiale [mg/kg T.Q.]	Rischio cancerogeno (R)	Indice di pericolo (HI)	Rischio Risorsa Idrica (RGW)	CSC Residenziali [mg/kg s.s.]
Alifatici C9-C18	4,03E+01		4,03E+01	3,87E+01	---	1,00E+00	NA	1,00E+01
Mercurio elementare	1,56E-01		1,56E-01	1,50E-01	---	1,00E+00	NA	1,00E+00
PCB Tot.	9,58E-01		9,58E-01	9,20E-01	1,00E-06	---	NA	6,00E-02

Le CSR degli Alifatici C9-C18 e del Mercurio elementare sono inferiori alle CSC pertanto queste sono gli effettivi obiettivi di bonifica.

In figura n. 25 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.

Fig. n. 25 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS - Sub area 2_Caso 1



- Suolo profondo

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell’esposizione a sostanze volatili presenti nel suolo profondo ha evidenziato Rischio non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 e Mercurio per inalazione indoor e solo per Mercurio per inalazione outdoor.

Nella figura n. 26 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile per l’indice di pericolo.

Fig. n. 26 – Valori dell’Indice di Pericolo SP - Sub area 2_Caso 1

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)
Alifatici C9-C18	1,51E+02	---		1,51E+02	---	---	3,64E+00
Mercurio elementare	3,80E+00	---		3,80E+00	---	---	2,36E+01

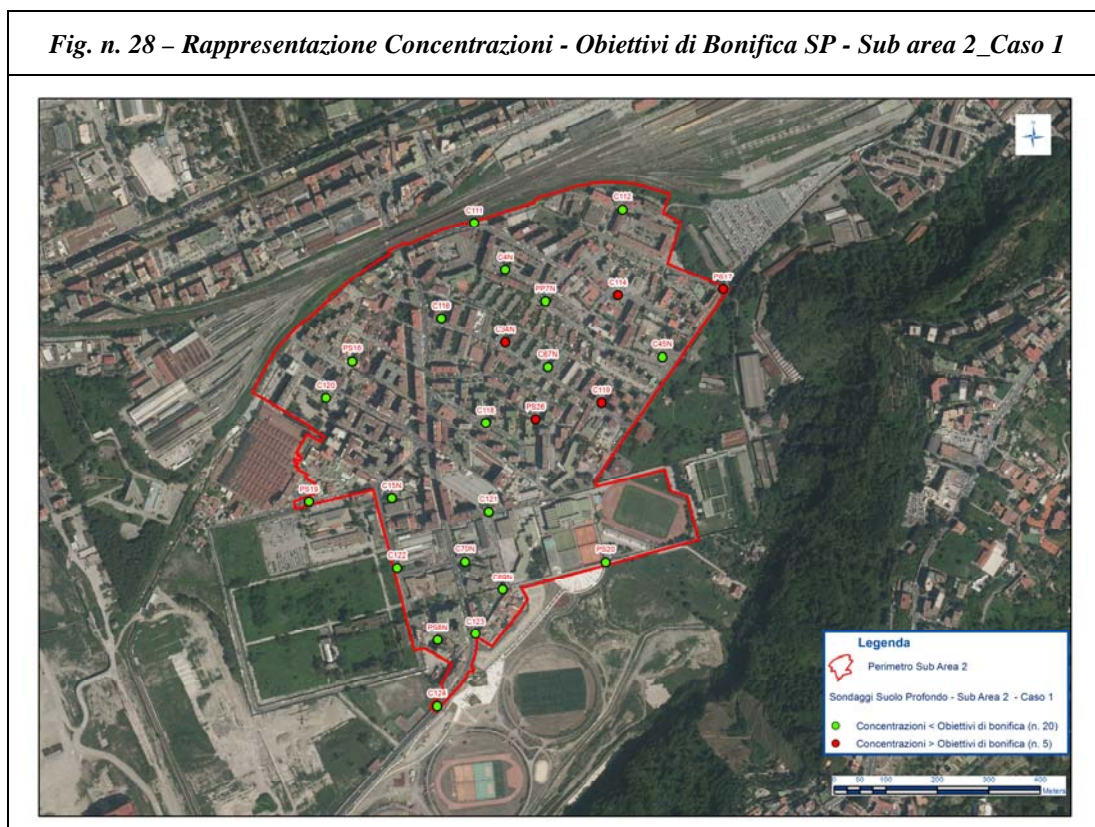
L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR indicate nella figura n. 27, che rappresentano le concentrazioni per cui non si rileva un rischio di tipo sanitario. Le CSR calcolate risultano minori delle CSC, pertanto queste ultime rappresentano gli effettivi obiettivi di bonifica.

Fig. n. 27 – Concentrazioni Soglia di Rischio SP - Sub area 2_Caso 1

Contaminanti	CSR individual e [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo profondo [mg/kg s.s.]	CSR suolo profondo [mg/kg T.Q.]	Rischio Cancero geno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC Residenz iale [mg/kg s.s.]
Alifatici C9-C18	4,15E+01		4,15E+01	3,98E+01	---	1,00E+00	NA	1,00E+01
Mercurio elementare	1,61E-01		1,61E-01	1,54E-01	---	1,00E+00	NA	1,00E+00

In figura n. 28 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.

Fig. n. 28 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SP - Sub area 2_Caso 1



Caso 2 – Aree a verde residenziale

La sub area 2, così come descritto nel paragrafo n. 5 è caratterizzata oltre che da edifici residenziali e commerciali anche da poche aree a verde in corrispondenza di alcune abitazioni e di aree pubbliche. In questo caso, in via cautelativa, saranno considerate le aree a verde residenziale. Dal momento che l'esposizione alle sostanze volatili presenti nel suolo profondo è già stata valutata nel caso 1, in questo caso l'unica sorgente esaminata è il suolo superficiale. Le vie di esposizione attive sono l'ingestione, il contatto dermico, l'inalazione indoor e outdoor di polveri e vapori. I bersagli individuati sono ovviamente i residenti.

Le concentrazioni rappresentative della sorgente corrispondenti alle massime di tutta la sub-area 2 sono indicate nella tabella n. 19.

Tab. n. 19 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SS

Contaminante	CRS (mg/kg)
Alifatici C9-C18	1,26E+02
Mercurio elementare	3,00E+00
PCB Tot.	8,90E-02
Arsenico	2,40E+01
Piombo	1,05E+02
Benzo(a)antracene	1,18E+00
Benzo(a)pirene	8,80E-01
Benzo(b)fluorantene	9,80E-01
Benzo(g,h,i)perilene	6,30E-01
Benzo(k)fluorantene	6,00E-01
Dibenzo(a,e)pirene	1,10E-01
Dibenzo(a,h)antracene	1,50E-01
Dibenzo(a,i)pirene	1,20E-01
Dibenzo(a,l)pirene	2,40E-01
Indenopirene	1,12E+00

Risultati - Caso 2

- Suolo superficiale

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

- Rischio non accettabile da ingestione di suolo per Arsenico, e Benzo(a)antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Dibenzo(a,h)antracene, Dibenzo(a,l)pirene, Indenopirene;
- Rischio non accettabile da contatto dermico con il suolo per Arsenico, Benzo(a)pirene, Dibenzo(a,h)antracene, Dibenzo(a,l)pirene;
- Indice di pericolo non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 e Mercurio per inalazione indoor e solo per Mercurio per inalazione outdoor.

Nella figura n. 29 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.

<i>Fig. n. 29 – Valori Rischio SS - Sub area 2_Caso 2</i>								
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)	
Alifatici C9-C18	1,26E+02	---		1,26E+02	---	---	3,13E+00	
Mercurio elementare	3,00E+00	---		3,00E+00	---	---	1,92E+01	
PCB Tot.	8,90E-02	---		8,90E-02	---	4,95E-07	---	
Arsenico	2,40E+01	---		2,40E+01	---	6,17E-05	1,11E+00	
Piombo	1,05E+02	---		1,05E+02	---	---	3,94E-01	
Benzo(a)antracene	1,18E+00	---		1,18E+00	---	1,95E-06	---	
Benzo(a)pirene	8,80E-01	---		8,80E-01	---	3,35E-05	---	
Benzo(b)fluorantene	9,80E-01	---		9,80E-01	---	1,58E-06	---	
Benzo(g,h,i)perilene	6,30E-01	---		6,30E-01	---	---	3,81E-04	
Benzo(k)fluorantene	6,00E-01	---		6,00E-01	---	9,70E-07	---	
Dibenzo(a,e)pirene	1,10E-01	---		1,10E-01	---	---	6,45E-05	
Dibenzo(a,h)antracene	1,50E-01	---		1,50E-01	---	5,70E-06	---	
Dibenzo(a,i)pirene	1,20E-01	---		1,20E-01	---	1,93E-07	---	
Dibenzo(a,l)pirene	2,40E-01	---		2,40E-01	---	3,87E-06	---	
Indenopirene	1,12E+00	---		1,12E+00	---	1,81E-06	---	
						On-site	R tot	HI tot
						Outdoor	1,12E-04	3,14E+00
						Indoor	3,16E-08	2,23E+01

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR indicate nella figura n. 30, che rappresentano le concentrazioni per cui non si rileva un rischio di tipo sanitario.

Fig. n. 30 – Concentrazioni Soglia di Rischio SS - Sub area 2_Caso 2

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.]	CSR suolo superficiale [mg/kg T.Q.]	Rischio cancerogeno (R)	Indice di pericolo (HI)	Rischio Risorsa Idrica (RGW)	CSC Residenziali [mg/kg s.s.]
Alifatici C9-C18	4,03E+01		4,03E+01	3,87E+01	---	1,00E+00	NA	1,00E+01
Mercurio elementare	1,56E-01		1,56E-01	1,50E-01	---	1,00E+00	NA	1,00E+00
PCB Tot.	1,80E-01		1,80E-01	1,73E-01	1,00E-06	---	NA	6,00E-02
Arsenico	3,89E-01		3,89E-01	3,73E-01	1,00E-06	1,80E-02	NA	2,00E+01
Piombo	2,66E+02		2,66E+02	2,56E+02	---	1,00E+00	NA	1,00E+02
Benzo(a)antracene	6,07E-01		6,07E-01	5,82E-01	1,00E-06	---	NA	5,00E-01
Benzo(a)pirene	2,63E-02		2,63E-02	2,53E-02	1,00E-06	---	NA	1,00E-01
Benzo(b)fluorantene	6,19E-01		6,19E-01	5,94E-01	1,00E-06	---	NA	5,00E-01
Benzo(g,h,i)perilene	1,66E+03		1,66E+03	1,59E+03	---	1,00E+00	NA	1,00E-01
Benzo(k)fluorantene	6,19E-01		6,19E-01	5,94E-01	1,00E-06	---	NA	5,00E-01
Dibenzo(a,e)pirene	1,71E+03		1,71E+03	1,64E+03	---	1,00E+00	NA	1,00E-01
Dibenzo(a,h)antracene	2,63E-02		2,63E-02	2,53E-02	1,00E-06	---	NA	1,00E-01
Dibenzo(a,i)pirene	6,20E-01		6,20E-01	5,95E-01	1,00E-06	---	NA	1,00E-01
Dibenzo(a,l)pirene	6,20E-02		6,20E-02	5,95E-02	1,00E-06	---	NA	1,00E-01
Indenopirene	6,20E-01		6,20E-01	5,95E-01	1,00E-06	---	NA	1,00E-01
					On-site	R tot	HI tot	
					Outdoor	1,00E-05	3,13E+00	
					Indoor	5,69E-08	2,00E+00	

Le CSR di Alifatici C9-C18, Mercurio elementare, Benzo(a)pirene, Dibenzo(a,h)antracene, Dibenzo(a,l)pirene, ed Arsenico sono inferiori alle rispettive CSC, pertanto queste ultime rappresentano gli effettivi obiettivi di bonifica.

Al fine di verificare il rispetto del rischio cumulato è stata implementata un’analisi di rischio in modalità diretta in cui:

- sono state eliminate le sostanze con obiettivo di bonifica pari alla CSC;
- sono state inserite le CRS per le sostanze che non danno rischio singolo;
- sono state inserite le CSR per tutte le sostanze che danno rischio singolo.

In figura n. 31 si riportano i risultati ottenuti.

Fig. n. 31 – Rischio cumulato SS - Sub area 2_Caso 2

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)
PCB Tot.	8,90E-02	---		8,90E-02	---	4,95E-07	---
Piombo	1,05E+02	---		1,05E+02	---	---	3,94E-01
Benzo(a)antracene	6,07E-01	---		6,07E-01	---	1,00E-06	---
Benzo(b)fluorantene	6,19E-01	---		6,19E-01	---	1,00E-06	---
Benzo(g,h,i)perilene	6,30E-01	---		6,30E-01	---	---	3,81E-04
Benzo(k)fluorantene	6,00E-01	---		6,00E-01	---	9,70E-07	---
Dibenzo(a,e)pirene	1,10E-01	---		1,10E-01	---	---	6,45E-05
Dibenzo(a,i)pirene	1,20E-01	---		1,20E-01	---	1,93E-07	---
Indenopirene	6,20E-01	---		6,20E-01	---	1,00E-06	---

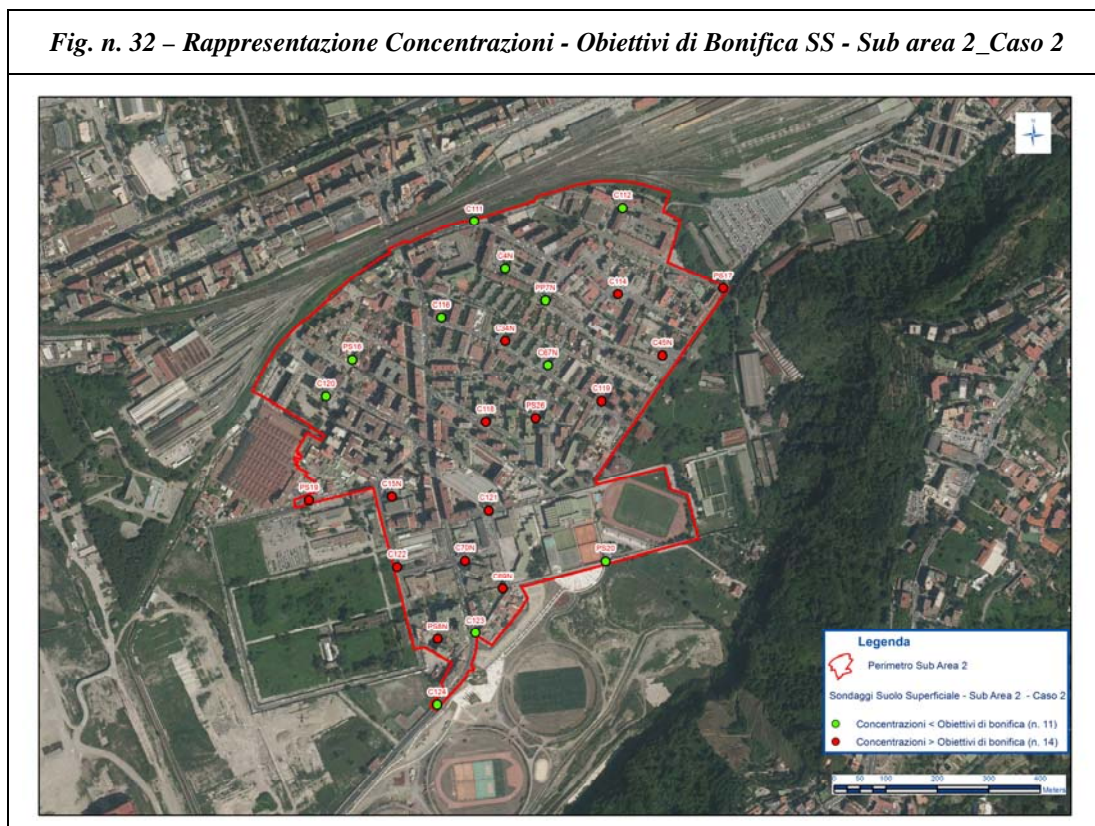
On-site	R tot	HI tot
Outdoor	4,66E-06	3,95E-01
Indoor	2,88E-08	5,66E-07

In tabella n. 20 si riportano gli obiettivi di bonifica per il suolo superficiale nel caso 2, mentre in figura n. 32 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.

Tab. n. 20 – Obiettivi di Bonifica SS

Contaminanti	mg/kg s.s.
Idrocarburi pesanti	1,00E+01
Mercurio elementare	1,00E+00
PCB Tot.	8,90E-02
Arsenico	2,00E+01
Piombo	1,05E+02
Benzo(a)antracene	6,07E-01
Benzo(a)pirene	1,00E-01
Benzo(b)fluorantene	6,19E-01
Benzo(g,h,i)perilene	6,30E-01
Benzo(k)fluorantene	6,00E-01
Dibenzo(a,e)pirene	1,10E-01
Dibenzo(a,h)antracene	1,00E-01
Dibenzo(a,i)pirene	1,20E-01
Dibenzo(a,l)pirene	1,00E-01
Indenopirene	6,20E-01

Fig. n. 32 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS - Sub area 2_Caso 2



5.5 Conclusioni

Caso 1

L'applicazione dell'analisi di rischio alla sub area 2 nel caso 1 ha indicato la presenza di rischio non accettabile per Idrocarburi C>12 e per Mercurio. In corrispondenza delle aree che presentano concentrazioni di tali sostanze maggiori delle CSC, secondo quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 e smi, devono essere attuati idonei interventi di bonifica. Tuttavia è necessario effettuare alcune considerazioni in merito ai risultati ottenuti ai fini della scelta delle soluzioni più efficaci per gli interventi da attuare:

- dalla fase di caratterizzazione ambientale del sito è intercorso un considerevole lasso di tempo (circa 7 anni);
- 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;

- Per il Mercurio è stata selezionata, in via cautelativa, la forma che comporta il rischio maggiore per inalazione;
- 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.

Ai fini della tutela della salute umana di coloro che risiedono nella sub area 2, si ritiene che debbano essere intraprese le seguenti azioni:

- verifica attraverso analisi di speciazione delle frazioni idrocarburiche effettivamente presenti ai fini dell'attivazione del percorso di volatilizzazione e della scelta delle proprietà chimico fisiche e tossicologiche maggiormente appropriate;
- verifica analitica della presenza effettiva di Mercurio elementare in corrispondenza dei superamenti rilevati;
- misure dirette dei vapori provenienti dai suoli e utilizzo di dati di campo (misure di soil gas, campionamenti dell'aria indoor e outdoor) per la verifica dei risultati ottenuti con l'applicazione modellistica per la valutazione dell'efficacia – efficienza delle eventuali misure di prevenzione e degli eventuali interventi di bonifica da attuare;
- individuazione delle effettive sorgenti primarie della contaminazione, se ancora presenti.

Caso 2

L'applicazione dell'analisi di rischio alla sub area 2 nel caso 2 ha mostrato un rischio non accettabile per Arsenico, Mercurio la maggior parte degli IPA presenti e per idrocarburi pesanti. In corrispondenza delle aree che presentano concentrazioni delle suddette sostanze maggiori degli obiettivi di bonifica, secondo quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 e smi, devono essere attuati idonei interventi di bonifica. Tuttavia è necessario effettuare alcune considerazioni in merito ai risultati ottenuti ai fini della scelta delle soluzioni più efficaci per gli interventi da attuare:

- dalla fase di caratterizzazione ambientale del sito è intercorso un considerevole lasso di tempo (circa 7 anni);
- i sondaggi sono stati eseguiti in corrispondenza di strade che rappresentano zone maggiormente esposte alla contaminazione di origine antropica e non nelle aree a verde residenziale oggetto del caso studio 2 – sub area 2 della presente analisi di rischio;
- 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;

- per il Mercurio è stata selezionata, in via cautelativa, la forma che comporta il rischio maggiore per inalazione;
- 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;
- la presenza di arsenico può essere attribuita alle caratteristiche idrogeologiche dell’area;
- gli IPA e gli idrocarburi rappresentano inquinanti tipici di aree urbanizzate che si originano dal traffico veicolare, da impianti termici ecc..

Ai fini della tutela della salute umana dei lavoratori e di coloro che risiedono nelle aree confinanti, si ritiene che debbano essere intraprese le seguenti azioni:

- misure dirette dei vapori provenienti dai suoli e utilizzo di dati di campo (misure di soil gas, campionamenti dell’aria indoor e outdoor) per la verifica dei risultati ottenuti con l’applicazione modellistica per la valutazione dell’efficacia – efficienza delle eventuali misure di prevenzione e degli eventuali interventi di bonifica da attuare;
- eventuali approfondimenti analitici nelle aree a verde residenziale in corrispondenza dei punti maggiormente critici;
- verifica dei valori degli inquinanti attraverso i dati per il monitoraggio della qualità dell’aria;
- individuazione delle effettive sorgenti primarie della contaminazione, se ancora presenti;
- verifica attraverso analisi di specazione delle frazioni idrocarburiche effettivamente presenti ai fini dell’attivazione del percorso di volatilizzazione e della scelta delle proprietà chimico fisiche e tossicologiche maggiormente appropriate;
- verifica analitica della presenza effettiva di Mercurio elementare in corrispondenza dei superamenti rilevati.

6. SUB AREA 3

L'area, individuata territorialmente negli ambiti Diocleziano e Nato, ha una superficie pari a 356.976 mq., ha una configurazione allungata il cui limite sud è definito dalla linea FS e quello nord dalle vie della Liberazione, Beccadelli.

All'interno si possono individuare due aree con caratteristiche diverse. La prima di edilizia residenziale di recente edificazione, in prevalenza privata, con cospicua presenza commerciale e strutture per l'istruzione; la seconda, quella attraversata dalla via Diocleziano, è di impianto più vecchio, con alcuni edifici di discreto interesse architettonico a prevalente destinazione residenziale.

Dall'analisi delle distribuzioni delle superfici si evince che le aree residenziali occupano circa la metà della superficie totale; le aree produttive/mercati ammontano al 2,9 %, le aree sociali (chiese, scuole, enti ad uso pubblico ed ASL) costituiscono il 10,4 % del territorio, mentre non sono presenti aree militari, pubbliche o private di particolare interesse. Scarsissima la presenza di verde pubblico (0,8 %) e di aree ad uso agricolo (3,7 %). Buona parte del territorio (37,4 %) è asservita alla viabilità stradale e ferroviaria.

Dal punto di vista urbanistico, l'area in esame è regolamentata dalla seguente documentazione:

- Variante urbanistica per l'area occidentale, approvata dalla Regione Campania nell'aprile 1998;
- Variante al PRG del comune di Napoli, approvata con Decreto del Presidente della Giunta Regione Campania n. 323 del 11 giugno 2004.

Le scelte operate nelle varianti al P.R.G rispondono ad una strategia finalizzata al raggiungimento di due obiettivi principali:

- la salvaguardia dell'ambiente naturale e degli insediamenti storici, da perseguire attraverso la tutela ed il ripristino dell'integrità fisica e dell'identità culturale del territorio;
- la riqualificazione degli insediamenti esistenti e delle aree dismesse attraverso la dotazione di spazi pubblici, attrezzature e insediamenti integrati (residenziali e produttivi, connessi al turismo e alla ricerca al commercio e all'artigianato).

La destinazione urbanistica della Sub area 3 – Ambiti Diocleziano e Nato è identificata nella zonizzazione della Variante per l'area occidentale al PRG del comune di Napoli come zone “nB” (Agglomerati urbani di recente formazione) e “nFb” (Strutture pubbliche o di uso collettivo), mentre nella Variante del 2004 come zone “Bb” (Agglomerati urbani di recente formazione) e “Fa4” (Aree a verde ornamentale) così come indicato nell'allegato 15.

Ai fini dell'elaborazione dell'analisi di rischio, lo scenario attuale coincide con quello futuro, dato che l'area è caratterizzata per la maggiore da residenze.

6.1 Indagini dirette

Nell’ambito dell’area in esame le attività hanno riguardato la realizzazione di n. 17 sondaggi geognostici con tecnica a carotaggio continuo, di cui n. 4 completati a pozzi di monitoraggio della falda, distinti a seguire in funzione della profondità:

- C42N, C71N, C85N, C86N, C87N, C90, C92, C93N, C95N, C83, C84, spinti fino ad una profondità di 15 m. da p.c.;
- PS12N e PS15N spinti fino ad una profondità di 21 m. da p.c.;
- PS11 spinto fino ad una profondità di 33 m. da p.c. senza riuscire ad intercettare la falda;
- PS10N spinto fino ad una profondità di 39 m. da p.c. senza riuscire ad intercettare la falda;
- PP5N e PP6, spinti fino ad una profondità di 45 m. da p.c.

Nella scelta dell’ubicazione dei sondaggi si è tenuto conto dei punti a maggiore criticità secondo un sistema ragionato di campionamento e dei risultati delle indagini indirette.

Nel corso dell’indagine ambientale è stato effettuato, il prelievo di campioni di terreno ed di acque sotterranee, secondo quanto previsto dall’ex D.M. 471/99, successivamente sottoposti ad analisi chimiche di laboratorio per la ricerca degli analiti elencati nel relativo Piano della Caratterizzazione, di cui al paragrafo 2.4 della presente. Dai sondaggi sono stati prelevati n. 51 campioni di terreno e 11 campioni di top soil (C84-TS, C85N-TS, C86N-TS, PS12N-TS, C87N-TS, C90-TS, C92-TS, C95N-TS, PP5N-TS, PP6-TS e C83-TS, ad una profondità di 0,0 – 0,15 m.), destinati ad analisi di laboratorio per verificare lo stato qualitativo dei terreni dell’area in oggetto.

Dai sondaggi C84, PS15N, C85N, C86N, C42N, C87N, C90, PS11, C93N, PP6, C95N, PS10N e C83 i campioni di suolo sono stati prelevati alle seguenti profondità:

- un campione rappresentativo del suolo superficiale e profondo (0,5 – 1,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (1,5 – 2,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (3,5 – 5,0 m. di profondità da p.c.).

Dal sondaggio PP5N, i campioni di suolo sono stati prelevati alle seguenti profondità:

- un campione rappresentativo del suolo profondo (1,5 – 2,0 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (2,0 – 2,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (3,5 – 5,0 m. di profondità da p.c.).

Dal sondaggio PS12N, i campioni di suolo sono stati prelevati alle seguenti profondità:

- un campione rappresentativo del suolo profondo (2,5 – 3,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (3,5 – 4,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (4,5 – 5,5 m. di profondità da p.c.).

Dal sondaggio C92, i campioni di suolo sono stati prelevati alle seguenti profondità:

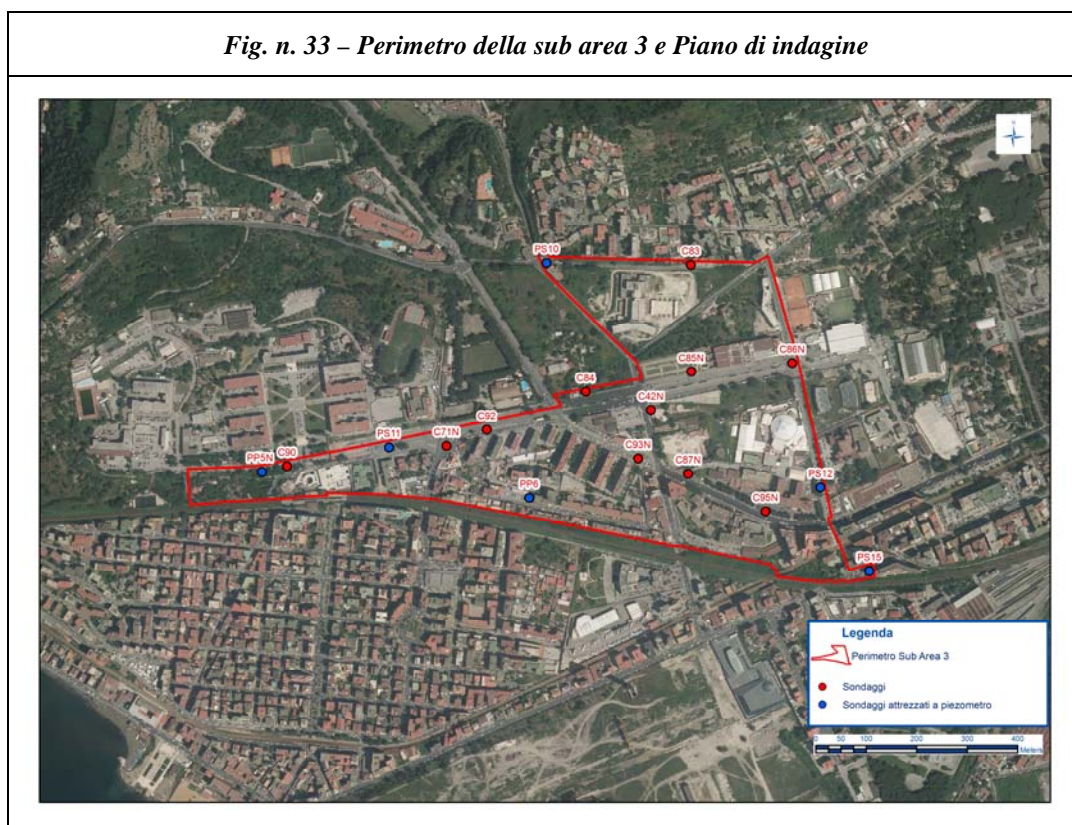
- un campione rappresentativo del suolo profondo (4,0 – 5,0 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (5,0 – 6,0 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (6,0 – 6,5 m. di profondità da p.c.).

Dal sondaggio C71N, i campioni di suolo sono stati prelevati alle seguenti profondità:

- un campione rappresentativo del suolo profondo (5,0 – 6,0 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (6,0 – 7,0 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (7,5 – 8,0 m. di profondità da p.c.).

Nella figura n. 33 sono rappresentati su ortofoto l’area ed i sondaggi eseguiti in base al Piano di Indagine.

Fig. n. 33 – Perimetro della sub area 3 e Piano di indagine



6.2 Risultati analisi chimiche

I risultati delle analisi chimiche eseguite sui campioni di suolo e di sottosuolo 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 verde pubblico privato e residenziale dell’area.

Dall’elaborazione dei dati contenuti nell’allegato 8, sono stati estrapolati i valori dove si è riscontrato il superamento dei limiti di riferimento. Le relative concentrazioni sono state inserite nella tabella n. 21, dove si riportano gli analiti, il carotaggio/piezometro di riferimento, le coordinate geografiche, la profondità del campione, i limiti di riferimento e la data di esecuzione:

Tab. n. 21 – Superamenti Suoli sub area 3

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A (mg/kg)														20	6,3	1	100	50	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1
Sondaggio	Coord_X	Coord_Y	Soggiacenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Berillio	Mercurio	Piombo	Idrocarburi C>12	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Benzo (k) fluorantene	Dibenzo (a,l) pirene	Indeno (1,2,3-cd) pirene									
PS15N C2	430831	4518904	17,98	0,5 - 1,5	20/11/2007			1,2			1,32	0,92	1,08	0,64	0,63	0,17	0,93									
PS15N C3				1,5 - 2,5																						
PS15N C5				3,5 - 5																						
C85N C2	430478	4519300	Sogg. > 15	0,5 - 1,5	09/01/2008																					
C85N C3				1,5 - 2,5		23																				
C85N C5				3,5 - 5,0																						
C71N C2	429993	4519152	Sogg. > 15	5 - 6	03/12/2007																					
C71N C3				6 - 7				208																		
C71N C5				7,5 - 8																						
C87N C2	430472	4519097	Sogg. > 15	0,5 - 1,5	06/12/2007				154			0,14					0,16									
C87N C3				1,5 - 2,5			125		0,13									0,15								
C87N C5				3,5 - 5																						
C90C2	429677	4519112	Sogg. > 15	0,5 - 1,5	04/12/2007		6,9																			
C90C3				1,5 - 2,5			7,1																			
C90C5				3,5 - 5,0																						
C92C1	430073	4519184	Sogg. > 15	4 - 5	03/12/2007																					
C92C2				5 - 6		23*																				
C92C3				6 - 6,5																						

Tab. n. 21 – Superamenti Suoli sub area 3

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A (mg/kg)						20	6,3	1	100	50	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1		
Sondaggio	Coord_X	Coord_Y	Soggiacenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Berillio	Mercurio	Piombo	Idrocarburi C > 12	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Benzo (k) fluorantene	Dibenzo (a,l) pirene	Indeno (1,2,3 -cd) pirene		
C93N C2	430373	4519127	Sogg. > 15	0,5 - 1,5	14/12/2007														
C93N C3				1,5 - 2,5															
C93N C5				3,5 - 5		7,4													
C95N C2	430625	4519022	Sogg. > 15	0,5 - 1,5	07/12/2007					95		0,13							
C95N C3				1,5 - 2,5				93											
C95N C5				3,5 - 5															
C83C2	430477	4519512	Sogg. > 15	0,5- 1,5	13/12/2007					71		0,13							
C83C3				1,5- 2,5															
C83C5				3,5- 5,00					59										
* valore da validazione ARPAC																			

6.3 Parametri Sito Specifici

6.3.1 Parametri di idrogeologia locale

Il flusso idrico sotterraneo è caratterizzato dalla presenza di falde sovrapposte, in cui le caratteristiche litologiche, geometriche e meccaniche dei terreni (materiali di riporto, depositi palustri limosi e torbosi, sabbie e limi marini, depositi vulcanici e sabbie costiere) sono tali da determinare un grado di permeabilità variabile e, nel contempo, l'assenza di veri e propri livelli impermeabili, per cui le varie falde sono tra di loro interconnesse. L'acquifero intercettato è posto a profondità medie comprese tra i 14,30 e i 27,60 m. dal piano campagna, valori di soggiacenza definiti in base all'elaborazione dei dati contenuti negli allegati 12 e 13 e riportati nella tabella n. 22.

<i>Tab. n. 22 – Valori di soggiacenza falda</i>	
Piezometro	Soggiacenza da p.c. (m)
PP5N	27,60
PP6	21,66
PS11	Non rinvenuta falda
PS15N	17,98
PS12N	14,30
PS10N	Non rinvenuta falda

6.3.2 Granulometria/tessitura del suolo

Dall’esame delle stratigrafie, riportate nell’allegato 10, è possibile sintetizzare per ogni singolo sondaggio/piezometro la seguente successione litologica.

Per il sondaggio C42N:

- da 0,00 a 1,50 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale fine sciolto;
- da 1,50 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;
- da 5,00 a 9,00 m. circa da p.c.: sabbia sciolta debolmente limosa di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;
- da 9,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta di colore grigio-marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.

Per il sondaggio C71N:

- da 0,00 a 4,00 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, ghiaietto, asfalto, ceramica, vetro, pezzi di ferro e frammenti lateritici;
- da 4,00 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone-nocciola con presenza di pomici di diametro millimetrico, poco addensato;
- da 5,00 a 6,00 m. circa da p.c.: sabbia fine limosa di colore grigio-marrone con presenza di pomici di diametro millimetrico, mediamente addensata;
- da 6,00 a 13,00 m. circa da p.c.: sabbia fine limosa di colore marrone, mediamente addensata;
- da 13,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore grigio-giallognola con presenza di frammenti litoidi (tufo) addensata.

Per il sondaggio C85N:

- da 0,00 a 0,20 m. circa da p.c.: massetto cementizio;
- da 0,20 a 1,50 m. circa da p.c.: sabbia fine, moderatamente addensata, di colore marrone;

- da 1,50 a 9,00 m. circa da p.c.: sabbia fine limosa marrone, moderatamente addensata;
- da 9,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia fine scarsamente limosa marrone chiaro, moderatamente addensata.

Per il sondaggio C86N:

- da 0,00 a 2,00 m. circa da p.c.: materiale di riporto, costituito da sabbia media, a tratti debolmente limosa, con frammenti di calcestruzzo e laterizi;
- da 2,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia fine limosa, moderatamente addensata, di colore marrone chiaro.

Per il sondaggio C87N:

- da 0,00 a 0,80 m. circa da p.c.: massetto cementizio e materiale di riporto antropico costituito da sabbia media di colore marrone;
- da 0,80 a 3,00 m. circa da p.c.: sabbia media marrone;
- da 3,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia fine debolmente limosa beige.

Per il sondaggio C90:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da sabbia media sciolta e pezzi di laterizi;
- da 0,50 a 3,00 m. circa da p.c.: sabbia fine, moderatamente addensata, di colore marrone chiaro;
- da 3,00 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine, mediamente addensata, di colore marrone scuro;
- da 4,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia fine, mediamente addensata, di colore marrone chiaro.

Per il sondaggio C92:

- da 0,00 a 4,00 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da poca sabbia, asfalto, ceramica, vetro, pezzi di ferro, laterizi;
- da 4,00 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici di diametro millimetrico, poco addensata;
- da 5,00 a 8,00 m. circa da p.c.: sabbia fine limosa di colore grigio-nocciola con presenza di pomici di diametro millimetrico, mediamente addensata;
- da 8,00 a 13,00 m. circa da p.c.: sabbia fine limosa di colore marrone, mediamente addensata;
- da 13,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia grigio-giallastra con presenza di frammenti litoidi (tufo), addensata.

Per il sondaggio C93N:

- da 0,00 a 1,00 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale fine;
- da 1,00 a 4,50 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;

- da 4,50 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia fine limosa di colore grigio con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.

Per il sondaggio C95N:

- da 0,00 a 2,30 m. circa da p.c.: materiale di riporto antropico costituito da sabbia di colore marrone con frammenti di laterizi;
- da 2,30 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa beige con pomici eterometriche, poco addensata.

Per il sondaggio PP5N:

- da 0,00 a 1,00 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da asfalto, ceramica, vetro, laterizi;
- da 1,00 a 10,50 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici millimetriche poco addensato;
- da 10,50 a 13,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche, addensata;
- da 13,00 a 16,50 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone, ghiaie di dimensioni 2- 3 cm, poco addensata;
- da 16,50 a 22,00 m. circa da p.c.: sabbia debolmente ghiaiosa di colore marrone, ghiaie di dimensioni 2- 3 cm, poco addensato;
- da 22,00 a 33,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore giallo-rossiccio con presenza di pomici eterometriche, di frammenti tufacei di dimensioni 2-3 cm, scorie e lapilli;
- da 33,00 a 33,20 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore grigia con presenza di pomici eterometriche, di dimensioni centimetriche, poco addensato;
- da 33,20 a 36,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore grigio con presenza di pomici eterometriche, poco addensata ;
- da 36,00 a 45,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore nero con presenza di frammenti litici di dimensioni 2-3 cm, scorie e lapilli.

Per il sondaggio PP6:

- da 0,00 a 2,00 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia grossolana con frammenti di laterizi;
- da 2,00 a 6,50 m. circa da p.c.: sabbia fine limosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche, poco addensata;
- da 6,50 a 8,00 m. circa da p.c.: paleosuolo sabbioso di colore nero, mediamente addensato;
- da 8,00 a 10,90 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore verde, addensata;
- da 10,90 a 22,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore grigio scuro con presenza di pomici millimetriche, addensata;

- da 22,00 a 45,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore grigio con presenza di pomici eterometriche, di frammenti litici di dimensioni 2-3 cm, scorie e lapilli.

Per il sondaggio PS11:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia e ghiaia;
- da 0,50 a 5,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone, poco addensata;
- da 5,50 a 9,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone, poco addensata;
- da 9,00 a 10,00 m. circa da p.c.: paleosuolo costituito da sabbia fine, di colore nero, poco addensata;
- da 10,00 a 16,50 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone, poco addensata;
- da 16,50 a 18,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, poco addensata;
- da 18,00 a 33,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, poco addensata.

Per il sondaggio PS15N:

- da 0,00 a 1,50 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale fine sciolto;
- da 1,50 a 5,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore variabile da marrone scuro a ocre con presenza di pomici millimetriche;
- da 5,50 a 9,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone ricca di pomici millimetriche;
- da 9,00 a 12,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore grigio-giallastro ricca di pomici millimetriche;
- da 12,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone;
- da 15,00 a 17,50 m. circa da p.c.: sabbia con ghiaia di colore marrone chiaro;
- da 17,50 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche.

Per il sondaggio PS12N:

- da 0,00 a 2,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia limosa con pomici e frammenti litici da millimetrici a decimetrici;
- da 2,50 a 8,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone;
- da 8,50 a 9,00 m. circa da p.c.: paleosuolo costituito da sabbia di colore nera;
- da 9,00 a 14,60 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone;
- da 14,60 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche.

Per il sondaggio C83:

- da 0,00 a 3,00 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale fine;

- da 3,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia fine limosa di colore grigio con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.

Per il sondaggio PS10N:

- da 0,00 a 2,50 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale fine sciolto;
- da 2,50 a 4,50 m. circa da p.c.: sabbia poco addensata di colore giallognolo con presenza di pomici e scorie;
- da 4,50 a 7,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche;
- da 7,50 a 16,50 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone con presenza di pomici millimetriche;
- da 16,50 a 30,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche;
- da 30,00 a 35,00 m. circa da p.c.: sabbia addensata di colore marrone;
- da 35,00 a 38,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone;
- da 38,00 a 39,00 m. circa da p.c.: roccia vulcanica.

Dall’analisi delle suindicate stratigrafie è possibile individuare tre orizzonti principali, classificando i terreni nel seguente modo:

- orizzonte A, costituito da materiale di riporto composto da sabbia ghiaiosa e limosa, frammenti vulcanici e residui di demolizioni, con spessori variabili da 0,00/0,50 m. a 0,00/4,00 m.;
- orizzonte B, classificabile per la maggiore come sabbia fine limosa o debolmente limosa, con spessori variabili fino a 15,00 m. dal p.c. (fondo foro dei sondaggi non attrezzati a piezometro);
- orizzonte C, classificabile per la maggiore come sabbia ghiaiosa con spessori variabili fino a 45,00 m. dal p.c. (fondo foro dei piezometri PP5 e PP6).

6.4 Modello concettuale sito specifico e risultati

Per la definizione del modello concettuale sono stati individuati n. 2 casi in base al tipo di percorso di esposizione attivato.

- caso 1: area urbana pavimentata;
- caso 2: area a verde residenziale.

La profondità della base della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c., è pari a 27,6 m.

Caso 1 – Aree Residenziali Pavimentate

Le sorgenti di contaminazione sono state individuate nel suolo superficiale e nel suolo profondo.

I percorsi di esposizione attivati sono la volatilizzazione indoor e outdoor, avendo considerato che l'area residenziale risulta quasi totalmente edificata. I bersagli individuati sono i residenti. Lo scenario di esposizione con bersagli lavoratori non è stato esaminato in quanto nella sub area 1 è stato verificato che risulta comunque maggiormente cautelativo lo scenario residenziale a prescindere dalle caratteristiche degli edifici.

Le concentrazioni rappresentative delle sorgenti corrispondenti alle massime di tutta la sub-area 3 sono indicate nelle tabelle n. 23 e n. 24.

<i>Tab. n. 23 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SS</i>	
Contaminante	CRS (mg/kg)
Alifatici C9-C18	9,50E+01
Mercurio elementare	1,20E+00

<i>Tab. n. 24 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SP</i>	
Contaminante	CRS (mg/kg)
Alifatici C9-C18	2,08E+02

Risultati - Caso 1

- Suolo superficiale

L'elaborazione dell'analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell'esposizione a sostanze volatili presenti nel suolo superficiale ha evidenziato Rischio non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 e Mercurio per inalazione vapori indoor.

Nella figura n. 34 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile per l'indice di pericolo.

<i>Fig. n. 34 – Valori Rischio SS - Sub area 3_Caso 1</i>							
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)
Alifatici C9-C18	9,50E+01	---		9,50E+01	---	---	2,36E+00
Mercurio elementare	1,20E+00	---		1,20E+00	---	---	7,68E+00
					Outdoor	---	6,78E-01
					Indoor	---	1,00E+01

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione della CSR indicata nella figura n. 35, che rappresentano le concentrazioni al di sotto delle quali non si rileva un rischio di tipo sanitario.

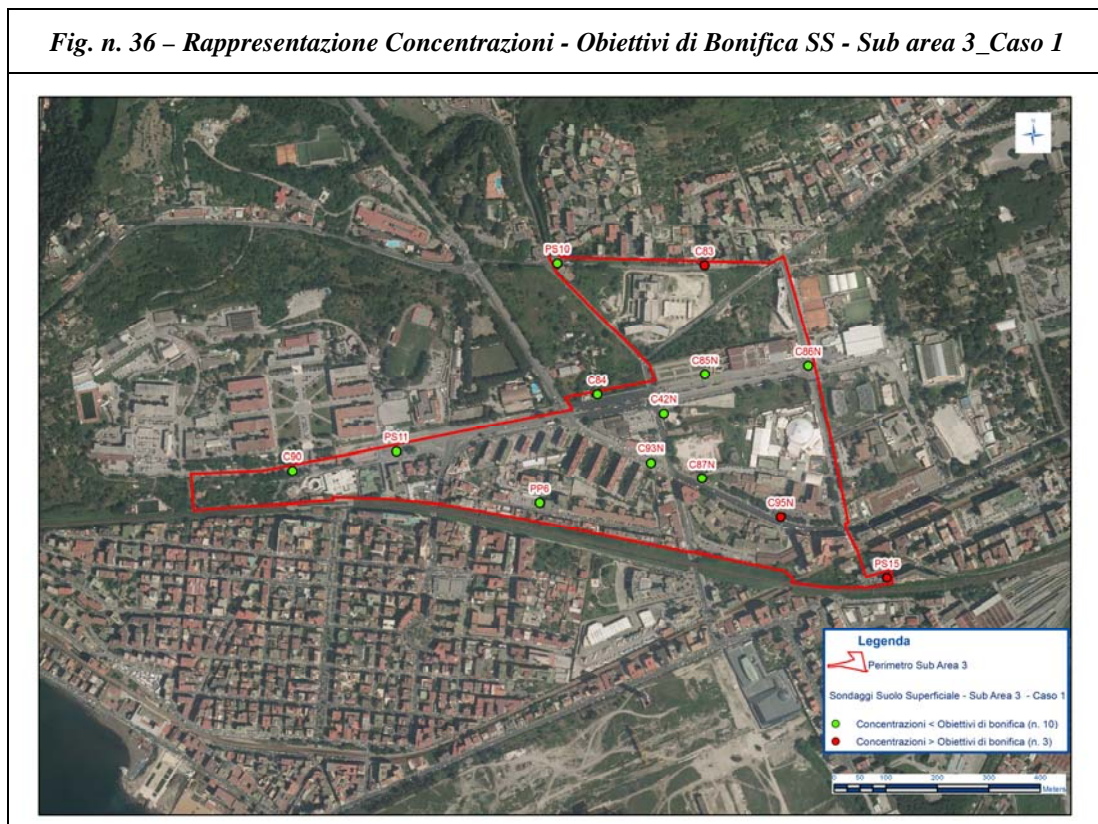
Fig. n. 35 – Concentrazioni Soglia di Rischio SS - Sub area 3_Caso 1

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.]	CSR suolo superficiale [mg/kg T.Q.]	Rischio cancerogeno (R)	Indice di pericolo (HI)	Rischio Risorsa Idrica (RGW)	CSC Residenziali [mg/kg s.s.]
Alifatici C9-C18	4,03E+01		4,03E+01	3,87E+01	---	1,00E+00	NA	1,00E+01
Mercurio elementare	1,56E-01		1,56E-01	1,50E-01	---	1,00E+00	NA	1,00E+00

Le CSR degli Alifatici C9-C18 e del Mercurio elementare sono inferiori alle CSC pertanto queste sono gli effettivi obiettivi di bonifica.

In figura n. 36 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.

Fig. n. 36 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS - Sub area 3_Caso 1



- Suolo profondo

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell’esposizione a sostanze volatili presenti nel suolo profondo ha evidenziato Rischio non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 per inalazione outdoor.

Nella figura n. 37 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile per l’indice di pericolo.

Fig. n. 37 – Valori dell’Indice di Pericolo SP - Sub area 3_Caso 1

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)
Alifatici C9-C18	2,08E+02	---		2,08E+02	---	---	5,01E+00

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione della CSR indicata nella figura n. 38 e che risulta minore della CSC, pertanto quest’ ultima rappresenta l’ effettivo obiettivo di bonifica.

Fig. n. 38 – Concentrazioni Soglia di Rischio SP - Sub area 3_Caso 1

Contaminanti	CSR individual e [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo profondo [mg/kg s.s.]	CSR suolo profondo [mg/kg T.Q.]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC Residenziale [mg/kg s.s.]
Alifatici C9-C18	4,15E+01		4,15E+01	3,98E+01	---	1,00E+00	NA	1,00E+01

In figura n. 39 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.

Fig. n. 39 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SP - Sub area 3_Caso 1



Tab. n. 25 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SS

Contaminante	CRS (mg/kg)
Alifatici C9-C18	9,50E+01
Mercurio elementare	1,20E+00
Berillio	6,90E+00
Piombo	1,54E+02
Benzo(a)antracene	1,32E+00
Benzo(a)pirene	9,20E-01
Benzo(b)fluorantene	1,08E+00
Benzo(g,h,i)perilene	6,40E-01
Benzo(k)fluorantene	6,30E-01
Dibenzo(a,l)pirene	1,70E-01
Indenopirene	9,30E-01

Risultati - Caso 2

- Suolo superficiale

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

- Rischio non accettabile da ingestione di suolo per Benzo(a)antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Dibenzo(a,l)pirene, Indenopirene;
- Rischio non accettabile da contatto dermico con il suolo per Benzo(a)pirene;
- Indice di pericolo non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 e Mercurio per inalazione indoor;
- Rischio cumulato outdoor per Benzo(k)fluorantene.

Nella figura n. 40 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.

Fig. n. 40 – Valori Rischio SS - Sub area 3_Caso 2

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)
Alifatici C9-C18	9,50E+01	---		9,50E+01	---	---	2,36E+00
Mercurio elementare	1,20E+00	---		1,20E+00	---	---	7,68E+00
Berillio	6,90E+00	---		6,90E+00	---	1,74E-10	4,54E-02
Piombo	1,54E+02	---		1,54E+02	---	---	5,78E-01
Benzo(a)antracene	1,32E+00	---		1,32E+00	---	2,18E-06	---
Benzo(a)pirene	9,20E-01	---		9,20E-01	---	3,50E-05	---
Benzo(b)fluorantene	1,08E+00	---		1,08E+00	---	1,75E-06	---
Benzo(g,h,i)perilene	6,40E-01	---		6,40E-01	---	---	3,87E-04
Benzo(k)fluorantene	6,30E-01	---		6,30E-01	---	1,02E-06	---
Dibenzo(a,l)pirene	1,70E-01	---		1,70E-01	---	2,74E-06	---
Indenopirene	9,30E-01	---		9,30E-01	---	1,50E-06	---
					On-site	R tot	HI tot
					Outdoor	4,42E-05	1,32E+00
					Indoor	3,44E-09	1,00E+01

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR indicate nella figura n. 41 che rappresentano le concentrazioni per cui non si rileva un rischio di tipo sanitario.

Fig. n. 41 – Concentrazioni Soglia di Rischio SS - Sub area 3_Caso 2

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.]	CSR suolo superficiale [mg/kg T.Q.]	Rischio cancerogeno (R)	Indice di pericolo (HI)	Rischio Risorsa Idrica (RGW)	CSC Residenziali [mg/kg s.s.]
Alifatici C9-C18	4,03E+01		4,03E+01	3,87E+01	---	1,00E+00	NA	1,00E+01
Mercurio elementare	1,56E-01		1,56E-01	1,50E-01	---	1,00E+00	NA	1,00E+00
Berillio	1,52E+02		1,52E+02	1,46E+02	3,81E-09	9,97E-01	NA	2,00E+00
Piombo	2,66E+02		2,66E+02	2,56E+02	---	1,00E+00	NA	1,00E+02
Benzo(a)antracene	6,07E-01		6,07E-01	5,82E-01	1,00E-06	---	NA	5,00E-01
Benzo(a)pirene	2,63E-02		2,63E-02	2,53E-02	1,00E-06	---	NA	1,00E-01
Benzo(b)fluorantene	6,19E-01		6,19E-01	5,94E-01	1,00E-06	---	NA	5,00E-01
Benzo(g,h,i)perilene	1,66E+03		1,66E+03	1,59E+03	---	1,00E+00	NA	1,00E-01
Benzo(k)fluorantene	6,19E-01		6,19E-01	5,94E-01	1,00E-06	---	NA	5,00E-01
Dibenzo(a,l)pirene	6,20E-02		6,20E-02	5,95E-02	1,00E-06	---	NA	1,00E-01
Indenopirene	6,20E-01		6,20E-01	5,95E-01	1,00E-06	---	NA	1,00E-01
				On-site	R tot	HI tot		
				Outdoor	6,00E-06	3,11E+00		
				Indoor	5,09E-09	2,00E+00		

Le CSR di Alifatici C9-C18, Mercurio elementare, Benzo(a)pirene, e Dibenzo(a,l)pirene, sono inferiori alle rispettive CSC, pertanto queste ultime rappresentano gli effettivi obiettivi di bonifica.

Al fine di verificare il rispetto del rischio cumulato è stata implementata un'analisi di rischio in modalità diretta in cui:

- sono state eliminate le sostanze con obiettivo di bonifica pari alla CSC;
- sono state inserite le CRS per le sostanze che non danno rischio singolo;
- sono state inserite le CSR per tutte le sostanze che danno rischio singolo.

In figura n. 42 si riportano i risultati ottenuti.

Fig. n. 42 – Rischio cumulato SS - Sub area 3_Caso 2

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)	
Berillio	6,90E+00	---		6,90E+00	---	1,74E-10	4,54E-02	
Piombo	1,54E+02	---		1,54E+02	---	---	5,78E-01	
Benzo(a)antracene	6,07E-01	---		6,07E-01	---	1,00E-06	---	
Benzo(b)fluorantene	6,19E-01	---		6,19E-01	---	1,00E-06	---	
Benzo(g,h,i)perilene	6,40E-01	---		6,40E-01	---	---	3,87E-04	
Benzo(k)fluorantene	6,19E-01	---		6,19E-01	---	1,00E-06	---	
Indenopirene	6,20E-01	---		6,20E-01	---	1,00E-06	---	
						On-site	R tot	HI tot
						Outdoor	4,00E-06	6,24E-01
						Indoor	1,43E-09	2,09E-05

In tabella n. 26 si riportano gli obiettivi di bonifica per il suolo superficiale nel caso 2, mentre in figura n. 43 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.

Tab. n. 26 – Obiettivi di Bonifica SS

Contaminanti	mg/kg s.s.
Alifatici C9-C18	1,00E+01
Mercurio elementare	1,00E+00
Berillio	2,00E+00
Piombo	1,00E+02
Benzo(a)antracene	6,07E-01
Benzo(a)pirene	1,00E-01
Benzo(b)fluorantene	6,19E-01
Benzo(g,h,i)perilene	6,40E-01
Benzo(k)fluorantene	6,19E-01
Dibenzo(a,l)pirene	6,20E-02
Indenopirene	1,00E-01

Fig. n. 43 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS - Sub area 3_Caso 2



6.5 Conclusioni

Caso 1

L'applicazione dell'analisi di rischio alla sub area 3 nel caso 1 ha indicato la presenza di rischio non accettabile per Idrocarburi C>12 e per Mercurio nel suolo superficiale e C>12 nel suolo profondo. In corrispondenza delle aree che presentano concentrazioni di tali sostanze maggiori delle CSC, secondo quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 e smi, devono essere attuati idonei interventi di bonifica. Tuttavia è necessario effettuare alcune considerazioni in merito ai risultati ottenuti ai fini della scelta delle soluzioni più efficaci per gli interventi da attuare:

- dalla fase di caratterizzazione ambientale del sito è intercorso un considerevole lasso di tempo (circa 7 anni);
- 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;

- Per il Mercurio è stata selezionata, in via cautelativa, la forma che comporta il rischio maggiore per inalazione;
- 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.

Ai fini della tutela della salute umana di coloro che risiedono nella sub area 3, si ritiene che debbano essere intraprese le seguenti azioni:

- verifica attraverso analisi di speciazione delle frazioni idrocarburiche effettivamente presenti ai fini dell'attivazione del percorso di volatilizzazione e della scelta delle proprietà chimico fisiche e tossicologiche maggiormente appropriate;
- verifica analitica della presenza effettiva di Mercurio elementare in corrispondenza dei superamenti rilevati;
- misure dirette dei vapori provenienti dai suoli e utilizzo di dati di campo (misure di soil gas, campionamenti dell'aria indoor e outdoor) per la verifica dei risultati ottenuti con l'applicazione modellistica per la valutazione dell'efficacia – efficienza delle eventuali misure di prevenzione e degli eventuali interventi di bonifica da attuare;
- individuazione delle effettive sorgenti primarie della contaminazione, se ancora presenti.

Caso 2

L'applicazione dell'analisi di rischio alla sub area 3 nel caso 2 ha mostrato un rischio non accettabile per Idrocarburi pesanti, Mercurio e per la maggior parte degli IPA presenti. In corrispondenza delle aree a verde in prossimità dei sondaggi che presentano concentrazioni delle suddette sostanze maggiori degli obiettivi di bonifica, secondo quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 e smi, devono essere attuati idonei interventi di bonifica. Tuttavia è necessario effettuare alcune considerazioni in merito ai risultati ottenuti ai fini della scelta delle soluzioni più efficaci per gli interventi da attuare:

- dalla fase di caratterizzazione ambientale del sito è intercorso un considerevole lasso di tempo (circa 7 anni);
- i sondaggi sono stati eseguiti in corrispondenza di strade che rappresentano zone maggiormente esposte alla contaminazione di origine antropica e non nelle aree a verde residenziale oggetto del caso studio 2 della presente analisi di rischio;
- 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;

- Per il Mercurio è stata selezionata, in via cautelativa, la forma che comporta il rischio maggiore per inalazione;
- 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;
- Gli IPA e gli idrocarburi rappresentano inquinanti tipici di aree urbanizzate che si originano dal traffico veicolare, da impianti termici ecc..

Ai fini della tutela della salute umana dei lavoratori e di coloro che risiedono nelle aree confinanti, si ritiene che debbano essere intraprese le seguenti azioni:

- misure dirette dei vapori provenienti dai suoli e utilizzo di dati di campo (misure di soil gas, campionamenti dell'aria indoor e outdoor) per la verifica dei risultati ottenuti con l'applicazione modellistica per la valutazione dell'efficacia – efficienza delle eventuali misure di prevenzione e degli eventuali interventi di bonifica da attuare;
- eventuali approfondimenti analitici nelle aree a verde residenziale in corrispondenza dei punti maggiormente critici;
- verifica dei valori degli inquinanti attraverso i dati per il monitoraggio della qualità dell'aria;
- individuazione delle effettive sorgenti primarie della contaminazione, se ancora presenti;
- verifica attraverso analisi di speciazione delle frazioni idrocarburiche e del Mercurio ai fini dell'attivazione del percorso di volatilizzazione e della scelta delle proprietà chimico fisiche e tossicologiche maggiormente appropriate.

7. SUB AREA 4

L'area, individuata territorialmente nell'ambito di Coroglio, ha una superficie pari a 62.272 mq., essa è definita a sud e sud-est dal costone della collina di Posillipo, ad ovest dall'arenile di Bagnoli ed a nord-est da via Coroglio.

I pochi fabbricati residenziali, per altro molto degradati, sono distribuiti lungo i margini dell'insediamento industriale e lungo via Coroglio, dove un piccolo e fatiscente agglomerato di case si sviluppa fin sulla spiaggia. Dall'analisi delle distribuzioni delle superfici si evince che le aree residenziali occupano una porzione limitatissima della superficie totale, assenti le aree produttive/mercati. Non si rilevano aree a verde pubblico e aree ad uso agricolo.

Dal punto di vista urbanistico, l'area in esame è regolamentata dalla seguente documentazione:

- Variante urbanistica per l'area occidentale, approvata dalla Regione Campania nell'aprile 1998;
- Variante al PRG del comune di Napoli, approvata con Decreto del Presidente della Giunta Regione Campania n. 323 del 11 giugno 2004.

Le scelte operate nelle varianti al P.R.G rispondono ad una strategia finalizzata al raggiungimento di due obiettivi principali:

- la salvaguardia dell'ambiente naturale e degli insediamenti storici, da perseguire attraverso la tutela ed il ripristino dell'integrità fisica e dell'identità culturale del territorio;
- la riqualificazione degli insediamenti esistenti e delle aree dismesse attraverso la dotazione di spazi pubblici, attrezzature e insediamenti integrati (residenziali e produttivi, connessi al turismo e alla ricerca al commercio e all'artigianato).

La destinazione urbanistica della Sub area 4 – Ambito Coroglio è identificata nella zonizzazione della Variante per l'area occidentale al PRG del comune di Napoli come zona “nG” (Insediamenti urbani integrati), mentre nella Variante del 2004 come zona “G” (Insediamenti urbani integrati), così come indicato nell'allegato 15.

7.1 Indagini dirette

Nell'ambito dell'area in esame le attività hanno riguardato la realizzazione di n. 4 sondaggi geognostici con tecnica a carotaggio continuo, di cui n. 1 completato a pozzo di monitoraggio della falda, distinti a seguire in funzione della profondità:

- C137N, C136N e C139, spinti fino ad profondità di 15 m. da p.c.;
- PS21 spinto fino ad profondità di 21 m. da p.c.

Nella scelta dell'ubicazione dei sondaggi si è tenuto conto dei punti a maggiore criticità secondo un sistema ragionato di campionamento e dei risultati delle indagini indirette.

Nel corso dell'indagine ambientale è stato effettuato, il prelievo di campioni di terreno ed di acque sotterranee, secondo quanto previsto dall'ex D.M. 471/99, successivamente sottoposti ad analisi chimiche di laboratorio per la ricerca degli analiti elencati nel relativo Piano della Caratterizzazione, di cui al paragrafo 2.4 della presente.

Dai sondaggi sono stati prelevati n. 12 campioni di terreno e 2 campioni di top soil (C137N-TS e PS21-TS, ad una profondità di 0,0 – 0,15 m.), destinati ad analisi di laboratorio per verificare lo stato qualitativo dei terreni dell'area in oggetto.

Dai sondaggi C137N e C136N, i campioni di suolo sono stati prelevati alle seguenti profondità:

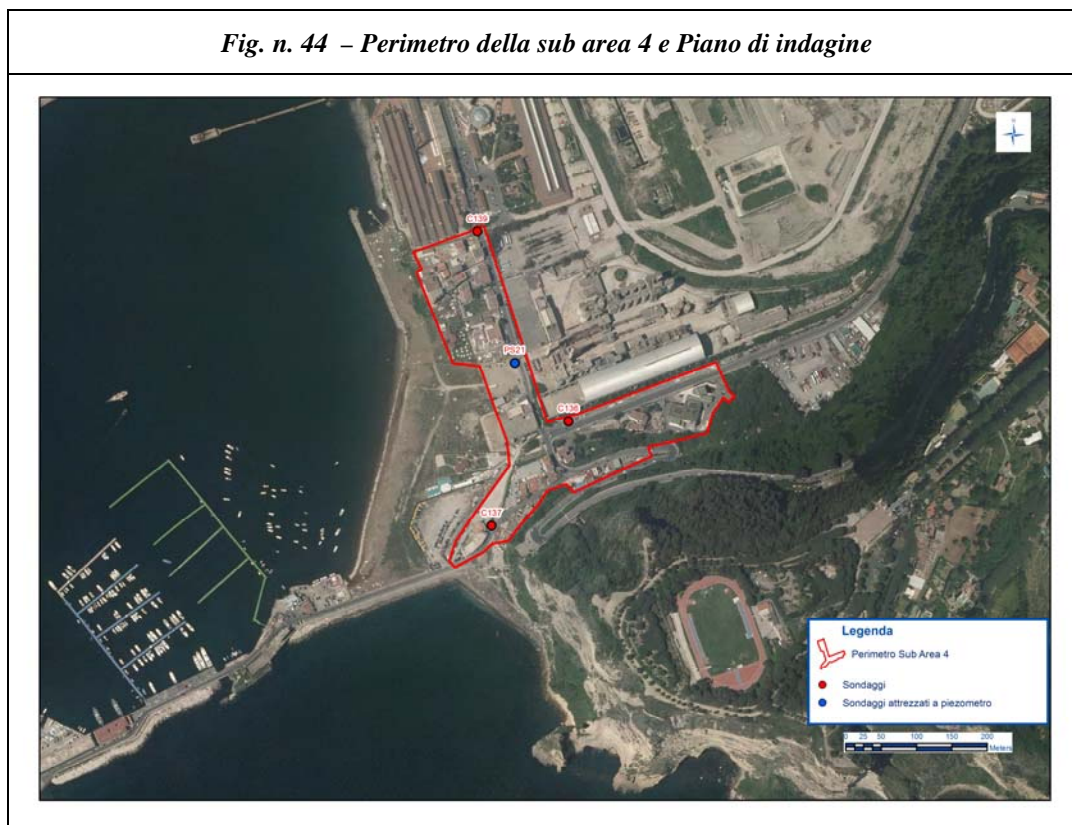
- un campione rappresentativo del suolo superficiale e profondo (0,5 – 1,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (1,5 – 2,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (3,5 – 5,0 m. di profondità da p.c.).

Dai sondaggi PS21 e C139, i campioni sono stati prelevati alle seguenti profondità:

- un campione rappresentativo del suolo superficiale (0,0 – 0,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo superficiale e profondo (0,5 – 1,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (1,5 – 2,5 m. di profondità da p.c.).

Nella figura n. 44 sono rappresentati su ortofoto l'area ed i sondaggi eseguiti in base al Piano di Indagine.

Fig. n. 44 – Perimetro della sub area 4 e Piano di indagine



7.2 **Risultati analisi chimiche**

I risultati delle analisi chimiche eseguite sui campioni di suolo e di sottosuolo 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 verde pubblico privato e residenziale dell’area.

Dall’elaborazione dei dati contenuti nell’allegato 8, sono stati estrapolati i valori dove si è riscontrato il superamento dei limiti di riferimento. Le relative concentrazioni sono state inserite nella tabella n. 27, dove si riportano gli analiti, il carotaggio/piezometro di riferimento, le coordinate geografiche, la profondità del campione, i limiti di riferimento e la data di esecuzione:

Tab. n. 27 – Superamenti Suoli sub area 4

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A (mg/kg)						20	100	150	50	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,06			
Sondaggio	Coord_X	Coord_Y	Soggiacenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Piombo	Zinco	Idrocarburi C > 12	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Benzo (k) fluorantene	Dibenzo (a,e) pirene	Dibenzo (a,h) antracene	Dibenzo(a,h)Pirene	Dibenzo (a,i) pirene	Dibenzo (a,l) pirene	Indeno (1,2,3 -cd) pirene	PCB Totali			
C137 NC2	430392	4516865	Sogg. > 15	0,5 - 1,5	15/11/2007	21		199	380	5,7	4,06	4,79	2,06	3,19	0,42	0,48	0,73	0,9	0,93	4,19				
C137 NC3				1,50 - 2,50																				
C137 NC5				3,50 - 5,00		26		228		0,55	0,38		0,22										0,45	
PS21 C1	430425	4517096	1,75	0,0 - 0,5	19/11/2007	71																		
PS21 C2				0,5 - 1,5		76																		
PS21 C3				1,5 - 2,5		100																		
C139 C1	430372	4517283	2,50	0,0 - 0,5	22/11/2007	29	167				0,52	0,6	0,41							0,2	0,46	0,072		
C139 C2				0,5 - 1,5		46			0,95	1,02	1,21	0,75	0,71	0,16	0,16		0,12	0,34	0,84					
C139 C3				1,5 - 2,5		64																		

7.3 Parametri Sito Specifici

7.3.1 Parametri di idrogeologia locale

Il flusso idrico sotterraneo è caratterizzato dalla presenza di falde sovrapposte, in cui le caratteristiche litologiche, geometriche e meccaniche dei terreni (materiali di riporto, depositi palustri limosi e torbosi, sabbie e limi marini, depositi vulcanici e sabbie costiere) sono tali da determinare un grado di permeabilità variabile e, nel contempo, l'assenza di veri e propri livelli impermeabili, per cui le varie falde sono tra di loro interconnesse.

L'acquifero intercettato è posto a profondità media di 1,75 m. dal piano campagna, valore di soggiacenza definito in base all'elaborazione dei dati contenuti negli allegati 12 e 13 e riportato nella tabella n. 28.

<i>Tab. n. 28 – Valori di soggiacenza falda</i>	
Piezometro	Soggiacenza da p.c. (m)
PS21	1,75

7.3.2 Granulometria/tessitura del suolo

Dall'esame delle stratigrafie, riportate nell'allegato 10, è possibile sintetizzare per ogni singolo sondaggio/piezometro la seguente successione litologica.

Per il sondaggio C137N:

- da 0,00 a 6,00 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, ghiaietto, materiali plastici, ceramiche e laterizi;
- da 6,00 a 10,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore grigio-marrone ricca in pomice;
- da 10,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore marrone ricca in pomice.

Per il sondaggio C136N:

- da 0,00 a 0,80 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, materiali plastici, ferro e laterizi;
- da 0,80 a 2,80 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici;
- da 2,80 a 6,50 m. circa da p.c.: sabbia di colore giallo addensata con presenza di pomici;
- da 6,50 a 7,00 m. circa da p.c.: livello di torba;
- da 7,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore grigiastra debolmente limosa.

Per il sondaggio C139:

- da 0,00 a 2,80 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, ghiaietto, frammenti lateritici e frustoli vegetali;

- da 2,80 a 6,20 m. circa da p.c.: sabbia grossolana poco addensata di colore giallino con inclusi eterometrici;
- da 6,20 a 11,20 m. circa da p.c.: sabbia media poco addensata di colore marrone con livelli decimetrici di colore nerastro (torba) e rari inclusi eterometrici;
- da 11,20 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore verde passante al verde scuro (13,80 m) con presenza di rari clasti millimetrici.

Per il sondaggio PS21:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia con ghiaia;
- da 0,50 a 5,50 m. circa da p.c.: sabbia fine debolmente limosa di colore marrone, poco addensata;
- da 5,50 a 7,00 m. circa da p.c.: sabbia grigia con presenza di pomice eterometriche, poco addensata;
- da 7,00 a 9,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone, poco addensata;
- da 9,00 a 10,00 m. circa da p.c.: paleosuolo costituito da sabbia fine nera, poco addensata;
- da 10,00 a 11,50 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa grigia con presenza di pomice eterometriche, poco addensata;
- da 11,50 a 13,00 m. circa da p.c.: sabbia fine grigia con presenza di pomice eterometriche, addensata;
- da 13,00 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa grigia con presenza di pomice centimetriche, poco addensata.

Dall'analisi delle suindicate stratigrafie è possibile individuare tre orizzonti principali, classificando i terreni nel seguente modo:

- orizzonte A, costituito da materiale di riporto composto da sabbia ghiaiosa e limosa, frammenti vulcanici e residui di demolizioni, con spessori variabili da 0,00/0,50 m. a 0,00/6,00 m.;
- orizzonte B, classificabile per la maggiore come sabbia grossolana addensata, con spessori variabili fino a 15,00 m. dal p.c. (fondo foro dei sondaggi non attrezzati a piezometro);
- orizzonte C, classificabile per la maggiore come sabbia ghiaiosa con spessori variabili fino a 21,00 m. dal p.c. (fondo foro del piezometro PS21).

7.4 Modello concettuale sito specifico e risultati

Per la definizione del modello concettuale è stato considerato un unico scenario costituito da area residenziale pavimentata, in quanto non risulta la presenza di aree a verde residenziale e/o ricreativo.

I percorsi di esposizione attivati sono la volatilizzazione indoor e outdoor. I bersagli individuati sono i residenti. Lo scenario di esposizione con bersagli lavoratori non è stato esaminato in quanto nella sub area 1 è stato verificato che risulta comunque maggiormente cautelativo lo scenario residenziale a prescindere dalle caratteristiche degli edifici.

La profondità della base della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c. è pari a 1,75 m.

Le concentrazioni rappresentative delle sorgenti corrispondenti alle massime di tutta la sub-area 4 sono indicate nelle tabelle n. 29 e n. 30.

<i>Tab. n. 29 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SS</i>	
Contaminante	CRS (mg/kg)
Alifatici C9-C18	3,80E+02
PCB tot.	7,20E-02

<i>Tab. n. 30 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SP</i>	
Contaminante	CRS (mg/kg)
Alifatici C9-C18	8,50E+01

Risultati

- Suolo superficiale

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell’esposizione a sostanze volatili presenti nel suolo superficiale ha evidenziato Rischio non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 per inalazione vapori indoor.

Nella figura n. 45 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile per l’indice di pericolo.

<i>Fig. n. 45 – Valori Rischio SS - Sub area 4</i>							
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)
Alifatici C9-C18	3,80E+02	---		3,80E+02	---	---	9,43E+00
PCB Tot.	7,20E-02	---		7,20E-02	---	7,51E-08	---

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	7,51E-08	2,89E-01
Indoor	2,22E-08	9,43E+00

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione della CSR indicata nella figura n. 46, che rappresentano le concentrazioni al di sotto delle quali non si rileva un rischio di tipo sanitario.

Fig. n. 46 – Concentrazioni Soglia di Rischio SS - Sub area 4

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.]	CSR suolo superficiale [mg/kg T.Q.]	Rischio cancerogeno (R)	Indice di pericolo (HI)	Rischio Risorsa Idrica (RGW)	CSC Residenziali [mg/kg s.s.]
Alifatici C9-C18	4,03E+01		4,03E+01	3,87E+01	---	1,00E+00	NA	1,00E+01
PCB Tot.	9,58E-01		9,58E-01	9,20E-01	1,00E-06	---	NA	6,00E-02

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	1,00E-06	3,06E-02
Indoor	2,96E-07	1,00E+00

La CSR degli Alifatici C9-C18 è inferiore alla CSC pertanto questa rappresenta l’ effettivo obiettivo di bonifica. In figura n. 47 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.

Fig. n. 47 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS - Sub area 4



- Suolo profondo

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell’esposizione a sostanze volatili presenti nel suolo profondo ha evidenziato Rischio non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 per inalazione indoor.

Nella figura n. 48 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile per l’indice di pericolo.

Fig. n. 48 – Valori dell’Indice di Pericolo SP - Sub area 4

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)
Alifatici C9-C18	8,50E+01	---		8,50E+01	---	---	2,05E+00

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione della CSR indicata nella figura n. 49 e che risulta minore della CSC, pertanto quest’ultima rappresenta l’effettivo obiettivo di bonifica.

Fig. n. 49 – Concentrazioni Soglia di Rischio SP - Sub area 4

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo profondo [mg/kg s.s.]	CSR suolo profondo [mg/kg T.Q.]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC Residenziale [mg/kg s.s.]
Alifatici C9-C18	4,15E+01		4,15E+01	3,98E+01	---	1,00E+00	NA	1,00E+01

In figura n. 50 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.

Fig. n. 50 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SP - Sub area 4



7.5 Conclusioni

L'applicazione dell'analisi di rischio alla sub area 4 ha indicato la presenza di rischio non accettabile per Idrocarburi C>12 nel suolo superficiale e nel suolo profondo. In corrispondenza delle aree che presentano concentrazioni di tali sostanze maggiori delle CSC, secondo quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 e smi, devono essere attuati idonei interventi di bonifica. Tuttavia è necessario effettuare alcune considerazioni in merito ai risultati ottenuti ai fini della scelta delle soluzioni più efficaci per gli interventi da attuare:

- dalla fase di caratterizzazione ambientale del sito è intercorso un considerevole lasso di tempo (circa 7 anni);
- 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;

- 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.

Ai fini della tutela della salute umana di coloro che risiedono nella sub area 4, si ritiene che debbano essere intraprese le seguenti azioni:

- verifica attraverso analisi di speciazione delle frazioni idrocarburiche effettivamente presenti ai fini dell’attivazione del percorso di volatilizzazione e della scelta delle proprietà chimico fisiche e tossicologiche maggiormente appropriate;
- misure dirette dei vapori provenienti dai suoli e utilizzo di dati di campo (misure di soil gas, campionamenti dell’aria indoor e outdoor) per la verifica dei risultati ottenuti con l’applicazione modellistica per la valutazione dell’efficacia – efficienza delle eventuali misure di prevenzione e degli eventuali interventi di bonifica da attuare;
- individuazione delle effettive sorgenti primarie della contaminazione, se ancora presenti.

8. SUB AREA 5

L'area, individuata territorialmente negli ambiti di Agnano e Pisciarelli, ha una superficie pari a 932.876 mq., essa è definita a nord e ad est dalla Tangenziale di Napoli, a sud dalle aree agricole ricadenti nell'ambito di Agnano e ad ovest dall'insediamento delle attività produttive ricadenti nell'ambito Pisciarelli, lungo via Agnano degli Astroni.

Dall'analisi delle distribuzioni delle superfici si evidenzia che le aree residenziali occupano una parte limitata della superficie totale, sono presenti alcune coltivazioni agricole e una percentuale di verde preponderante.

Le aree produttive sono ubicate esclusivamente a Nord dell'Ippodromo di Agnano, inserito nella sub area, a cavallo dell'asse viario della Tangenziale e ad ovest lungo via Agnano degli Astroni. Le attività prevalenti riguardano il settore nautico (officine, vendita, assistenza e rimessaggio), ma non mancano attività terziarie di altro genere, quali officine meccaniche, carrozzerie, autodemolizioni, ecc., ubicate nell'ambito di Pisciarelli. Per la presenza dell'Ippodromo risultano diffuse le strutture ad esso connesse quali i circoli ippici, scuole di equitazione, scuderie, ecc.

Dal punto di vista urbanistico, l'area in esame è regolamentata dalla seguente documentazione:

- Variante urbanistica per l'area occidentale, approvata dalla Regione Campania nell'aprile 1998;
- Variante al PRG del comune di Napoli, approvata con Decreto del Presidente della Giunta Regione Campania n. 323 del 11 giugno 2004.

Le scelte operate nelle varianti al P.R.G rispondono ad una strategia finalizzata al raggiungimento di due obiettivi principali:

- la salvaguardia dell'ambiente naturale e degli insediamenti storici, da perseguire attraverso la tutela ed il ripristino dell'integrità fisica e dell'identità culturale del territorio;
- la riqualificazione degli insediamenti esistenti e delle aree dismesse attraverso la dotazione di spazi pubblici, attrezzature e insediamenti integrati (residenziali e produttivi, connessi al turismo e alla ricerca al commercio e all'artigianato).

La destinazione urbanistica della Sub area 5 – Ambiti Agnano Pisciarelli è identificata nella zonizzazione della Variante per l'area occidentale al PRG del comune di Napoli come zone “nD” (Insediamenti per la produzione di beni e servizi) e “nFb” (Strutture pubbliche o di uso collettivo), mentre nella Variante del 2004 come zone “Da” (Insediamenti per la produzione di beni e servizi d'interesse tipologico testimoniale) e “Ed” (Aree a verde ornamentale), così come indicato nell'allegato 15.

8.1 Indagini dirette

Nell’ambito dell’area in esame le attività hanno riguardato la realizzazione di n. 20 sondaggi geognostici con tecnica a carotaggio continuo, di cui n. 8 completati a pozzi di monitoraggio della falda, distinti a seguire in funzione della profondità:

- C6N, C37, C38N, C44N, C47N, C50, C52N, C57, C59, C62N, spinti fino ad profondità di 4 m. da p.c.;
- C55N e C49, spinti fino ad profondità di 4,50 m. da p.c.;
- PS6, spinto fino ad una profondità di 12 m. da p.c.;
- PS24, spinto fino ad una profondità di 14 m. da p.c.;
- PS2 e PS5N, spinti fino ad una profondità di 15 m. da p.c.;
- PS1N, spinto fino ad una profondità di 21 m. da p.c.;
- PP1N, PP2N e PP3N, spinti fino ad una profondità di 50 m. da p.c.

Nella scelta dell’ubicazione dei sondaggi si è tenuto conto dei punti a maggiore criticità secondo un sistema ragionato di campionamento e dei risultati delle indagini indirette.

Nel corso dell’indagine ambientale è stato effettuato il prelievo di campioni di terreno, secondo quanto previsto dall’ex D.M. 471/99, successivamente sottoposti ad analisi chimiche di laboratorio per la ricerca degli analiti elencati nel relativo Piano della Caratterizzazione, di cui al paragrafo 2.4 della presente.

Dai sondaggi sono stati prelevati n. 60 campioni di terreno e 10 campioni di top soil (C6N-TS, C52N-TS, C62N-TS, PS6-TS, C44N-TS, C47N-TS, C49-TS, C50-TS, C55N-TS, PS1N-TS ad una profondità di 0,0 – 0,15 m.), destinati ad analisi di laboratorio per verificare lo stato qualitativo dei terreni dell’area in oggetto.

Dai sondaggi C6N e C50, i campioni di suolo sono stati prelevati alle seguenti profondità:

- un campione rappresentativo del suolo superficiale (0,0 – 0,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo superficiale (0,5 – 1,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (1,5 – 2,5 m. di profondità da p.c.).

Dai sondaggi C52N, C37 e C47N, i campioni sono stati prelevati alle seguenti profondità:

- un campione rappresentativo del suolo superficiale (0,0 – 0,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (1,5 – 2,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (3,5 – 4,0 m. di profondità da p.c.).

Dai sondaggi PP3N, PP1N, PS2, PP2N, PS24, PS6, PS1N e PS5, i campioni sono stati prelevati alle seguenti profondità:

- un campione rappresentativo del suolo superficiale (0,5 – 1,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (1,5 – 2,5 m. di profondità da p.c.);

- un campione rappresentativo del suolo profondo (3,5 – 5,0 m. di profondità da p.c.).

Dai sondaggi C38N, C57, C59 e C62N, i campioni sono stati prelevati alle seguenti profondità:

- un campione rappresentativo del suolo superficiale (0,5 – 1,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (1,5 – 2,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (3,5 – 4,0 m. di profondità da p.c.).

Dai sondaggi C49 e C55N, i campioni sono stati prelevati alle seguenti profondità:

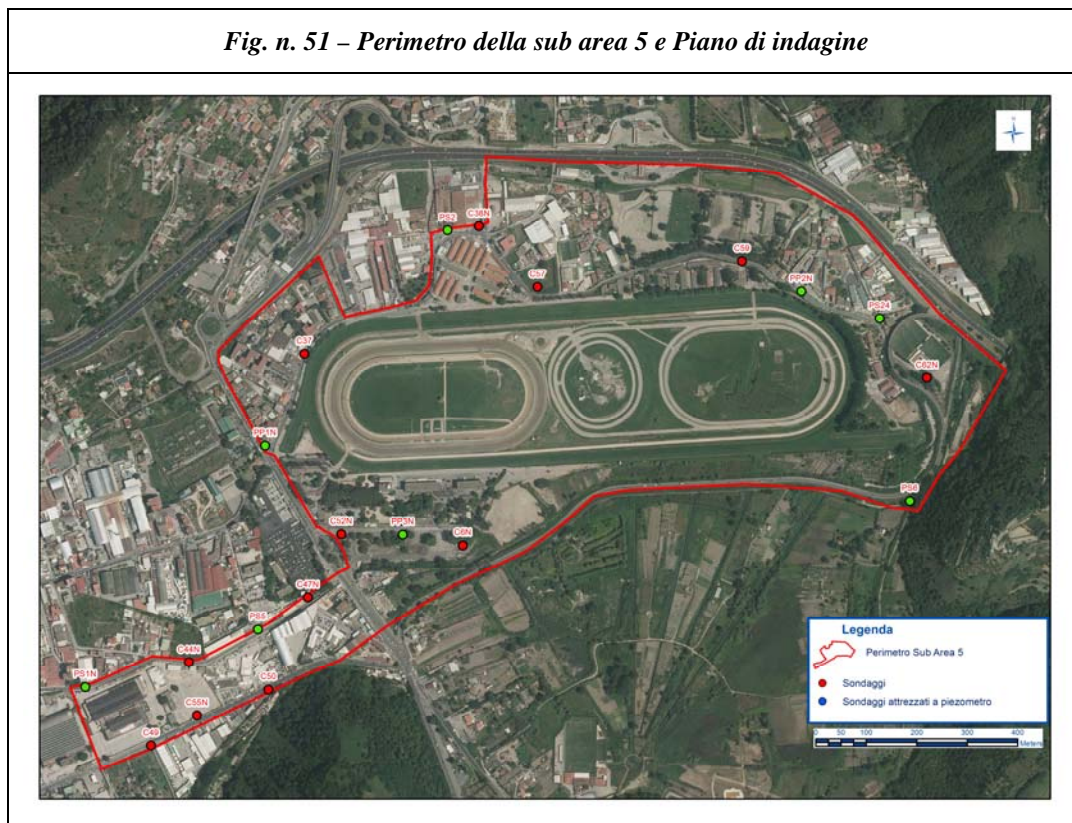
- un campione rappresentativo del suolo superficiale (0,5 – 1,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (1,5 – 2,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (3,5 – 4,5 m. di profondità da p.c.).

Dal sondaggio C44N, i campioni sono stati prelevati alle seguenti profondità:

- un campione rappresentativo del suolo profondo (1,5 – 2,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (2,5 – 3,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (3,5 – 4,0 m. di profondità da p.c.).

Nella figura n. 51 sono rappresentati su ortofoto l’area ed i sondaggi eseguiti in base al Piano di Indagine.

Fig. n. 51 – Perimetro della sub area 5 e Piano di indagine



8.2 Risultati analisi chimiche

I risultati delle analisi chimiche eseguite sui campioni di suolo e di sottosuolo 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 verde pubblico privato e residenziale dell’area.

Dall’elaborazione dei dati contenuti nell’allegato 8, sono stati estrapolati i valori dove si è riscontrato il superamento dei limiti di riferimento. Le relative concentrazioni sono state inserite nella tabella n. 31, dove si riportano gli analiti, il carotaggio/piezometro di riferimento, le coordinate geografiche, la profondità del campione, i limiti di riferimento e la data di esecuzione:

Tab. n. 31 – Superamenti Suoli sub area 5

		Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A (mg/kg)																							
Sondaggio	Coord_X	Coord_Y	Soggiacenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Mercurio	Piombo	Rame	Zinco	Idrocarburi C > 12	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Benzo (k) fluorantene	Dibenzo (a,e) pirene	Dibenzo (a,h) antracene	Dibenzo(a,h)Pirene	Dibenzo (a,i) pirene	Dibenzo (a,l) pirene	Indeno (1,2,3 -cd) pirene	PCB Totali		
PP3 NC2	429600	4520533	4,30	0,5-1,5	20/12/2007																				
PP3 NC3				1,5-2,5																					
PP3 NC5				3,5-5,0									70												
C37 C1	429405	4520892	Sogg. > 4	0,0-0,5	04/01/2008						55														
C37 C3				1,5-2,5																					
C37 C5				3,5-4,0																					
C38 NC2	429751	4521145	Sogg. > 4	0,5-1,5	14/12/2007																				
C38 NC3				1,5-2,5									0,62	0,66	0,86	0,48			0,13		0,18	0,15	0,4		
C38 NC5				3,5-4						159			101	1,27	1,59	1,94	1,02	0,8	0,18	0,18	0,15	0,52	0,32	0,99	

Tab. n. 31 – Superamenti Suoli sub area 5

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A (mg/kg)						20	1	100	120	150	50	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,06					
Sondaggio	Coord_X	Coord_Y	Soggracenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Mercurio	Piombo	Rame	Zinco	Idrocarburi C > 12	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Benzo (k) fluorantene	Dibenzo (a,e) pirene	Dibenzo (a,h) antracene	Dibenzo(a,h)Pirene	Dibenzo (a,i) pirene	Dibenzo (a,l) pirene	Indeno (1,2,3 -cd) pirene	PCB Totali									
C57 C2	429867	4521025	Sogg. > 4	0,5-1,5	14/12/2007																											
C57 C3				1,5-2,5																												
C57 C5				3,5-4		24																										
PP2 NC2	430390	4521016	4,67	0,5-1,5	27/12/2007	21																										
PP2 NC3				1,5-2,5		23																										
PP2 NC5				3,5-5																												
PS24 C2	430545	4520962	5,30	0,5-1,5	05/01/2008																											
PS24 C3				1,5-2,5		23																										
PS24 C5				3,5-5																												

Tab. n. 31 – Superamenti Suoli sub area 5

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A (mg/kg)		20	1	100	120	150	50	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,06							
Sondaggio	Coord_X	Coord_Y	Soggracenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Mercurio	Piombo	Rame	Zinco	Idrocarburi C > 12	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Benzo (k) fluorantene	Dibenzo (a,e) pirene	Dibenzo (a,h) antracene	Dibenzo(a,h)Pirene	Dibenzo (a,i) pirene	Dibenzo (a,l) pirene	Indeno (1,2,3 -cd) pirene	PCB Totali				
C62 NC2	430639	4520845	Sogg. > 4	0,5- 1,5	18/12/2007																						
C62 NC3				1,5- 2,5																							
C62 NC5				3,5-4			161		161																		
PS6 C2	430605	4520600	6,30	0,5- 1,5	29/01/2008	33			410															0,09			
PS6 C3				1,5- 2,5		27																					
PS6 C5				3,5-5		38																					
PS1 NC2	428971	4520230	17,96	0,5- 1,5	13/12/2007							0,14															
PS1 NC3				1,5- 2,5																							
PS1 NC5				3,5-5																							

8.3 Parametri Sito Specifici

8.3.1 Parametri di idrogeologia locale

Il flusso idrico sotterraneo è caratterizzato dalla presenza di falde sovrapposte, in cui le caratteristiche litologiche, geometriche e meccaniche dei terreni (materiali di riporto, depositi palustri limosi e torbosi, sabbie e limi marini, depositi vulcanici e sabbie costiere) sono tali da determinare un grado di permeabilità variabile e, nel contempo, l'assenza di veri e propri livelli impermeabili, per cui le varie falde sono tra di loro interconnesse.

L'acquifero intercettato è posto a profondità medie comprese tra i 4,30 e i 17,96 m. dal piano campagna, valori di soggiacenza definiti in base all'elaborazione dei dati contenuti negli allegati 12 e 13 e riportati nella tabella n. 32.

Piezometro	Soggiacenza da p.c. (m)
PS1	17,96
PS5N	9,03
PP1N	7,30
PP2N	4,67
PP3N	4,30
PS2	9,34
PS24	5,30
PS6	6,30

8.3.2 Granulometria/tessitura del suolo

Dall'esame delle stratigrafie, riportate nell'allegato 10, è possibile sintetizzare per ogni singolo sondaggio/piezometro la seguente successione litologica.

Per il sondaggio C6N:

- da 0,00 a 1,00 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale fine;
- da 1,00 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine limosa di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.

Per il sondaggio C37:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia fine sciolta e frammenti lateritici;
- da 0,50 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia media, moderatamente addensata di colore marrone.

Per il sondaggio C38N:

- da 0,00 a 0,30 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, frammenti di asfalto e calcestruzzo;
- da 0,30 a 3,10 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, poco addensata;
- da 3,10 a 3,50 m. circa da p.c.: paleosuolo costituito da sabbia fine colore nero;
- da 3,50 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore grigio con presenza di pomici millimetriche, poco addensata.

Per il sondaggio C44:

- da 0,00 a 0,10 m. circa da p.c.: asfalto;
- da 0,10 a 0,50 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale fine sciolto.;
- da 0,50 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine mediamente addensata di colore marrone chiaro.

Per il sondaggio C47:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia , asfalto e calcestruzzo.;
- da 0,50 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, poco addensata.

Per il sondaggio C50:

- da 0,00 a 3,00 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia limosa con presenza di frammenti di laterizi e pomici;
- da 3,00 a 4,00 m. circa da p.c.: prodotti scoriacei e tufacei.

Per il sondaggio C52N:

- da 0,00 a 1,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, poco addensata;
- da 1,00 a 1,50 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore bianco, ricca di pomici bianche, di dimensioni centimetriche;
- da 1,50 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, poco addensata.

Per il sondaggio C55N:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da calcestruzzo;
- da 0,50 a 4,50 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone-giallognolo con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.

Per il sondaggio C57:

- da 0,00 a 0,30 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia , asfalto e calcestruzzo;

- da 0,30 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, poco addensata.

Per il sondaggio C59:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, frammenti di asfalto e calcestruzzo;
- da 0,50 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, poco addensata.

Per il sondaggio C62N:

- da 0,00 a 0,30 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia e frammenti di asfalto e calcestruzzo;
- da 0,30 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone poco addensata con presenza di pomici millimetriche.

Per il sondaggio C49:

- da 0,00 a 2,00 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale fine;
- da 2,00 a 4,50 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.

Per il sondaggio PP1N:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale ghiaioso e pezzi di ceramica;
- da 0,50 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.;
- da 5,00 a 8,00 m. circa da p.c.: sabbia fine debolmente limosa di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;
- da 8,00 a 10,00 m. circa da p.c.: paleosuolo costituito da sabbia fine di colore nero con presenza di pomici millimetriche;
- da 10,00 a 11,20 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore nero con presenza di pomici millimetriche;
- da 11,20 a 13,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche;
- da 13,50 a 16,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore nero con presenza di pomici millimetriche;
- da 16,00 a 25,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche;
- da 25,00 a 27,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore grigio con presenza di pomici millimetriche;

- da 27,00 a 50,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore grigio con presenza di pomici millimetriche.

Per il sondaggio PP2N:

- da 0,00 a 0,10 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da asfalto e sabbia;
- da 0,10 a 9,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici di diametro millimetrico, poco addensata;
- da 9,00 a 10,00 m. circa da p.c.: paleosuolo costituito da sabbia di colore nero, poco addensata;
- da 10,00 a 13,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, poco addensata;
- da 13,00 a 17,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore grigio poco addensata con presenza di pomici eterometriche;
- da 17,00 a 22,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici eterometriche, frammenti litici di dimensioni 2-3 cm, scorie e lapilli;
- da 22,00 a 36,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore grigio con presenza di pomici eterometriche, frammenti litici di dimensioni 2-3 cm, scorie e lapilli;
- da 36,00 a 50,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore nero con presenza di frammenti litici di dimensioni 2-3 cm, scorie e lapilli.

Per il sondaggio PP3N:

- da 0,00 a 0,20 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia fine moderatamente addensata e resti vegetali;
- da 0,20 a 2,50 m. circa da p.c.: sabbia fine moderatamente addensata di colore marrone;
- da 2,50 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia fine moderatamente addensata di colore marrone chiaro;
- da 15,00 a 50,00 m. circa da p.c.: sabbia fine limosa ben addensata di colore grigio.

Per il sondaggio PS1N:

- da 0,00 a 2,00 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito sabbia fine con frammenti di laterizi;
- da 2,00 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia sciolta di colore marrone;
- da 5,00 a 7,50 m. circa da p.c.: sabbia sciolta di colore grigio;
- da 7,50 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.

Per il sondaggio PS2:

- da 0,00 a 2,00 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia fine di colore marrone con frammenti di calcestruzzo e laterizi;

- da 2,00 a 10,00 m. circa da p.c.: sabbia fine debolmente limosa, mediamente addensata, di colore marrone;
- da 10,00 a 12,00 m. circa da p.c.: sabbia fine ben addensata di colore marrone;
- da 12,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia media ben addensata di colore grigio scuro.

Per il sondaggio PS5N:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: terreno di riporto, costituito da sabbia fine sciolta, di colore marrone, con frammenti di laterizi;
- da 0,50 a 9,50 m. circa da p.c.: sabbia fine moderatamente addensata di colore marrone;
- da 9,50 a 11,50 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta di colore grigio con pomici millimetriche;
- da 11,50 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa moderatamente addensata di colore nero.

Per il sondaggio PS6:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia e ghiaia vulcanica biancastra con presenza di frammenti di mattonelle;
- da 0,50 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone poco addensata;
- da 4,00 a 8,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore giallastro con presenza di pomici millimetriche, addensata;
- da 8,00 a 12,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore giallastro con presenza di pomici millimetriche, addensata.

Per il sondaggio PS24:

- da 0,00 a 1,50 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da sabbia limosa;
- da 1,50 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici millimetriche;
- da 5,00 a 8,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone;
- da 8,00 a 10,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche;
- da 10,00 a 14,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore grigio con presenza di pomici millimetriche.

Dall'analisi delle suindicate stratigrafie è possibile individuare tre orizzonti principali, classificando i terreni nel seguente modo:

- orizzonte A, costituito da materiale di riporto composto da sabbia ghiaiosa e limosa, frammenti vulcanici e residui di demolizioni, con spessori variabili da 0,00/0,50 m. a 0,00/3,00 m.;
- orizzonte B, classificabile per la maggiore come sabbia fine, con spessori variabili fino a 4,50 m. dal p.c. (fondo foro dei sondaggi non attrezzati a piezometro);
- orizzonte C, classificabile per la maggiore come sabbia fine e ghiaiosa con spessori variabili fino a 21,00 m. dal p.c. (fondo foro del piezometro PS1N) e sabbia ghiaiosa con spessori variabili fino a 50,00 m. dal p.c. (fondo foro dei piezometri PP1N, PP2N e PP3N).

8.4 *Modello concettuale sito specifico e risultati*

Per la definizione del modello concettuale sono stati individuati n. 3 casi in base al tipo di bersaglio considerato ed al percorso di esposizione attivato.

- caso 1: area urbana pavimentata;
- caso 2: area a verde residenziale;
- caso 3: area ricreativa.

Ai fini dell’elaborazione dell’ADR, si riporta quanto segue:

Per la falda è stato selezionato il massimo valore di soggiacenza pari a 18 m dal pc, in modo tale da inserire uno spessore del suolo contaminato pari a 17 m.

Caso 1 – Area urbana pavimentata

Le sorgenti di contaminazione sono state individuate nel suolo superficiale e nel suolo profondo.

I percorsi di esposizione attivati sono la volatilizzazione indoor e outdoor. I bersagli individuati sono i residenti. Lo scenario di esposizione con bersagli lavoratori non è stato esaminato in quanto nella sub area 1 è stato verificato che risulta comunque maggiormente cautelativo lo scenario residenziale a prescindere dalle caratteristiche degli edifici.

Le concentrazioni rappresentative delle sorgenti corrispondenti alle massime di tutta la sub-area 5 sono indicate nelle tabelle n. 33 e n. 34.

<i>Tab. n. 33 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SS</i>	
Contaminante	CRS (mg/kg)
Alifatici C9-C18	5,50E+01
PCB Tot.	9,00E-02
Mercurio elementare	1,50E+00

<i>Tab. n. 34 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SP</i>	
Contaminante	CRS (mg/kg)
Alifatici C9-C18	1,01E+02
Mercurio elementare	2,30E+00

Risultati - Caso 1

- Suolo superficiale

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell’esposizione a sostanze volatili presenti nel suolo superficiale ha evidenziato Rischio non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 e Mercurio per inalazione vapori indoor.

Nella figura n. 52 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile per l’indice di pericolo.

Fig. n. 52 – Valori Rischio SS - Sub area 5_Caso 1

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)	
Alifatici C9-C18	5,50E+01	---		5,50E+01	---	---	1,36E+00	
PCB Tot.	9,00E-02	---		9,00E-02	---	9,39E-08	---	
Mercurio elementare	1,50E+00	---		1,50E+00	---	---	9,61E+00	
						On-site	R tot	HI tot
						Outdoor	9,39E-08	7,99E-01
						Indoor	2,78E-08	1,10E+01

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR indicate nella figura n. 53 che rappresentano le concentrazioni per cui non si rileva un rischio di tipo sanitario.

Fig. n. 53 – Concentrazioni Soglia di Rischio SS - Sub area 5_Caso 1

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.]	CSR suolo superficiale [mg/kg T.Q.]	Rischio cancerogeno (R)	Indice di pericolo (HI)	Rischio Risorsa Idrica (RGW)	CSC Residenziali [mg/kg s.s.]
Alifatici C9-C18	4,03E+01		4,03E+01	3,87E+01	---	1,00E+00	NA	1,00E+01
PCB Tot.	9,58E-01		9,58E-01	9,20E-01	1,00E-06	---	NA	6,00E-02
Mercurio elementare	1,56E-01		1,56E-01	1,50E-01	---	1,00E+00	NA	1,00E+00

Le CSR degli Alifatici C9-C18 e del Mercurio elementare sono inferiori alle CSC pertanto queste rappresentano gli effettivi obiettivi di bonifica.

In figura n. 54 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.

Fig. n. 54 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS - Sub area 5_Caso 1



- Suolo profondo

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell’esposizione a sostanze volatili presenti nel suolo profondo ha evidenziato Rischio non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 per inalazione indoor e per mercurio per inalazione sia indoor che outdoor.

Nella figura n. 55 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile per l’indice di pericolo.

Fig. n. 55 – Valori dell’Indice di Pericolo SP - Sub area 5_Caso 1

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)
Alifatici C9-C18	1,01E+02	---		1,01E+02	---	---	2,43E+00
Mercurio elementare	2,30E+00	---		2,30E+00	---	---	1,43E+01

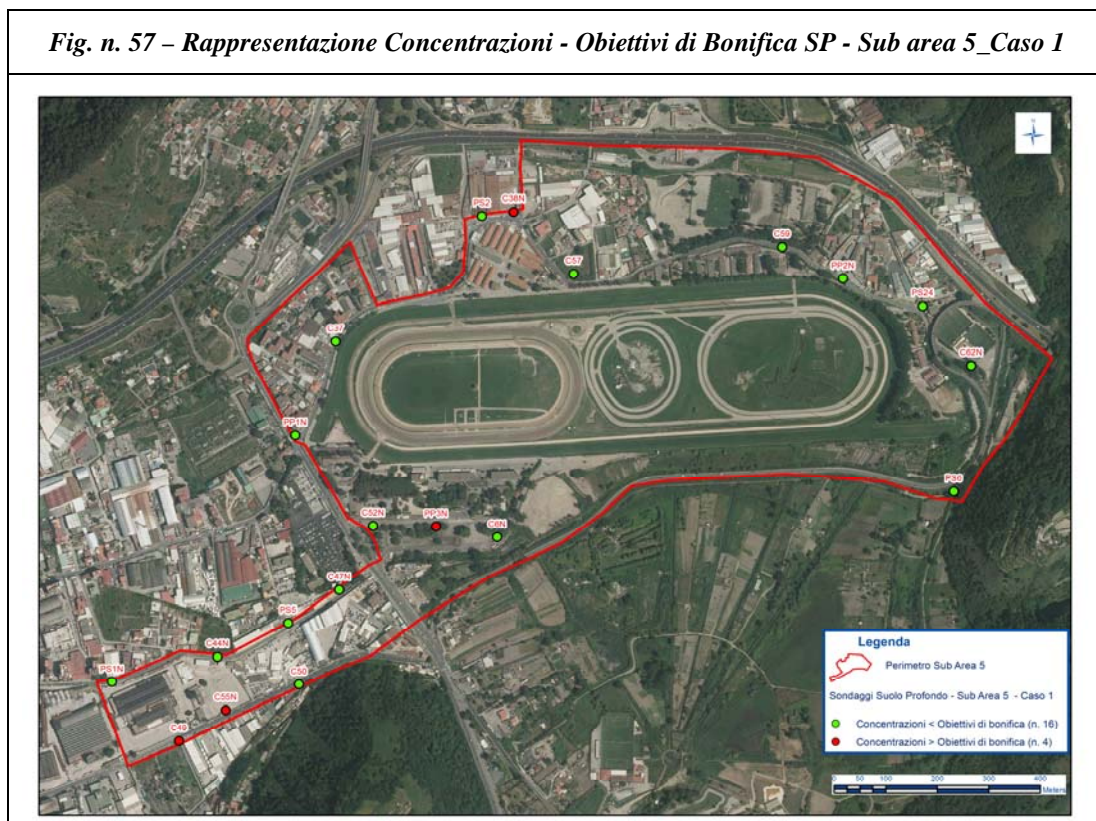
Le CSR indicate nella figura n. 56 risultano minori delle CSC, pertanto queste ultime rappresentano gli effettivi obiettivi di bonifica.

Fig. n. 56 – Concentrazioni Soglia di Rischio SP - Sub area 5_Caso 1

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo profondo [mg/kg s.s.]	CSR suolo profondo [mg/kg T.Q.]	Rischio Cancero geno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC Residenziale [mg/kg s.s.]
Alifatici C9-C18	4,15E+01		4,15E+01	3,98E+01	---	1,00E+00	NA	1,00E+01
Mercurio elementare	1,61E-01		1,61E-01	1,54E-01	---	1,00E+00	NA	1,00E+00

In figura n. 57 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.

Fig. n. 57 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SP - Sub area 5_Caso 1



Caso 2 – Area a verde residenziale

La sub area 5, così come descritto nel paragrafo n. 8, è caratterizzata da aree a verde residenziale. Dal momento che l’esposizione alle sostanze volatili presenti nel suolo profondo è già stata valutata nel caso 1, in questo caso l’unica sorgente esaminata è il suolo superficiale. Le vie di esposizione attive sono l’ingestione, il contatto dermico, l’inalazione indoor e outdoor di polveri e vapori. I bersagli individuati sono i residenti.

Le concentrazioni rappresentative delle sorgenti corrispondenti alle massime di tutta la sub-area 5 sono indicate nella tabella n. 35.

Tab. n. 35 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SS

Contaminante	CRS (mg/kg)
Alifatici C9-C18	5,50E+01
PCB Tot.	9,00E-02
Mercurio elementare	1,50E+00
Arsenico	3,30E+01
Rame	4,10E+02
Benzo(a)antracene	9,30E-01
Benzo(a)pirene	7,50E-01
Benzo(b)fluorantene	9,70E-01
Benzo(g,h,i)perilene	4,00E-01
Benzo(k)fluorantene	5,50E-01
Dibenzo(a,l)pirene	1,70E-01
Indenopirene	6,60E-01
PCB dl	9,00E-02
Metilmercurio	1,50E+00

Risultati - Caso 2

- Suolo superficiale

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

- Rischio non accettabile da ingestione di suolo per Benzo(a)antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Arsenico, PCB dl, Dibenzo(a,l)pirene;
- Rischio non accettabile da contatto dermico con il suolo per Arsenico, Benzo(a)pirene, PCB dl;
- Indice di pericolo non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 e Mercurio elementare per inalazione indoor;
- Rischio cumulato outdoor, relativamente alle sostanze che non hanno già dato rischio singolo, per Indenopirene.

Nella figura n. 58 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile per l’indice di pericolo.

Fig. n. 58 – Valori Rischio SS - Sub area 5_Caso 2

Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS ridotta suolo [mg/kg s.s.]	CRS ridotta soil-gas [mg/m³]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)
Alifatici C9-C18	5,50E+01	5,50E+01	---	---	1,36E+00
PCB Tot.	9,00E-02	9,00E-02	---	5,00E-07	---
Mercurio elementare	1,50E+00	1,50E+00	---	---	9,61E+00
Arsenico	3,30E+01	3,30E+01	---	8,48E-05	1,52E+00
Rame	4,10E+02	4,10E+02	---	---	1,35E-01
Benzo(a)antracene	9,30E-01	9,30E-01	---	1,53E-06	---
Benzo(a)pirene	7,50E-01	7,50E-01	---	2,85E-05	---
Benzo(b)fluorantene	9,70E-01	9,70E-01	---	1,57E-06	---
Benzo(g,h,i)perilene	4,00E-01	4,00E-01	---	---	2,42E-04
Benzo(k)fluorantene	5,50E-01	5,50E-01	---	8,89E-07	---
Dibenzo(a,l)pirene	1,70E-01	1,70E-01	---	2,74E-06	---
Indenopirene	6,60E-01	6,60E-01	---	1,07E-06	---
PCB dl	9,00E-02	9,00E-02	---	3,11E-03	2,31E+02
			On-site	R tot	HI tot
			Outdoor	3,23E-03	2,33E+02
			Indoor	1,05E-04	1,14E+01

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione della CSR indicata nella figura n. 59 che rappresenta la concentrazione al di sotto della quale non si rileva un rischio di tipo sanitario.

Fig. n. 59 – Concentrazioni Soglia di Rischio SS - Sub area 5_Caso 2

Contaminanti	CSR individual e [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.]	CSR suolo superficiale [mg/kg T.Q.]	Rischio cancerogeno (R)	Indice di pericolo (HI)	Rischio Risorsa Idrica (RGW)	CSC Residenziali [mg/kg s.s.]
Alifatici C9-C18	4,03E+01		4,03E+01	3,87E+01	---	1,00E+00	NA	1,00E+01
PCB Tot.	1,80E-01		1,80E-01	1,73E-01	1,00E-06	---	NA	6,00E-02
Mercurio elementare	1,56E-01		1,56E-01	1,50E-01	---	1,00E+00	NA	1,00E+00
Arsenico	3,89E-01		3,89E-01	3,73E-01	1,00E-06	1,80E-02	NA	2,00E+01
Rame	3,04E+03		3,04E+03	2,92E+03	---	1,00E+00	NA	1,20E+02
Benzo(a)antracene	6,07E-01		6,07E-01	5,82E-01	1,00E-06	---	NA	5,00E-01
Benzo(a)pirene	2,63E-02		2,63E-02	2,53E-02	1,00E-06	---	NA	1,00E-01
Benzo(b)fluorantene	6,19E-01		6,19E-01	5,94E-01	1,00E-06	---	NA	5,00E-01
Benzo(g,h,i)perilene	1,66E+03		1,66E+03	1,59E+03	---	1,00E+00	NA	1,00E-01
Benzo(k)fluorantene	6,19E-01		6,19E-01	5,94E-01	1,00E-06	---	NA	5,00E-01
Dibenzo(a,l)pirene	6,20E-02		6,20E-02	5,95E-02	1,00E-06	---	NA	1,00E-01
Indenopirene	6,20E-01		6,20E-01	5,95E-01	1,00E-06	---	NA	1,00E-01
PCB dl	2,89E-05		2,89E-05	2,78E-05	1,00E-06	7,41E-02	NA	6,00E-02
				On-site	R tot	HI tot		
				Outdoor	9,00E-06	2,21E+00		
				Indoor	9,07E-08	2,00E+00		

Le CSR di Alifatici C9-C18, Mercurio elementare, Arsenico, PCB dl, Benzo(a)pirene, e Dibenzo(a,l)pirene, sono inferiori alle rispettive CSC, pertanto queste ultime rappresentano gli effettivi obiettivi di bonifica.

Al fine di verificare il rispetto del rischio cumulato è stata implementata un’analisi di rischio in modalità diretta in cui:

- sono state eliminate le sostanze con obiettivo di bonifica pari alla CSC;
- sono state inserite le CRS per le sostanze che non danno rischio singolo;

- sono state inserite le CSR per tutte le sostanze che danno rischio singolo.

In figura n. 60 si riportano i risultati ottenuti.

Fig. n. 60 – Rischio cumulato SS - Sub area 5_Caso 2

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)	
Rame	4,10E+02	---		4,10E+02	---	---	1,35E-01	
Benzo(a)antracene	6,07E-01	---		6,07E-01	---	1,00E-06	---	
Benzo(b)fluorantene	6,19E-01	---		6,19E-01	---	1,00E-06	---	
Benzo(g,h,i)perilene	4,00E-01	---		4,00E-01	---	---	2,42E-04	
Benzo(k)fluorantene	5,50E-01	---		5,50E-01	---	8,89E-07	---	
Indenopirene	6,20E-01	---		6,20E-01	---	1,00E-06	---	
						On-site	R tot	HI tot
						Outdoor	3,89E-06	1,35E-01
						Indoor	1,26E-09	2,12E-07

In tabella n. 36 si riportano gli obiettivi di bonifica per il suolo superficiale nel caso 2 della sub area 5, mentre in figura n. 61 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.

Tab. n. 36 – Obiettivi di Bonifica SS

Contaminanti	mg/kg s.s.
Alifatici C9-C18	1,00E+01
PCB Tot.	6,00E-02
Mercurio elementare	1,00E+00
Arsenico	2,00E+01
Rame	4,10E+02
Benzo(a)antracene	6,07E-01
Benzo(a)pirene	1,00E-01
Benzo(b)fluorantene	6,19E-01
Benzo(g,h,i)perilene	4,00E-01
Benzo(k)fluorantene	5,50E-01
Dibenzo(a,l)pirene	1,00E-01
Indenopirene	6,20E-01
PCB dl	6,00E-02

Fig. n. 61 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS - Sub area 5_Caso 2



Caso 3 – Area ricreativa

Nel caso 3 è stato considerato uno scenario di tipo ricreativo dovuto alla presenza di alcune aree a verde ad uso ricreativo. Le sorgenti di contaminazione sono il suolo superficiale e il suolo profondo. Le vie di esposizione attive sono l’ingestione, il contatto dermico, l’inalazione indoor e outdoor di polveri e vapori. I bersagli individuati sono adulti e bambini in uno scenario ricreativo.

Le concentrazioni rappresentative delle sorgenti corrispondenti alle massime di tutta la sub-area 5 sono indicate nelle tabelle n. 37 e n. 38.

Tab. n. 37 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SS

Contaminante	CRS (mg/kg)
Alifatici C9-C18	5,50E+01
PCB Tot.	9,00E-02
Mercurio elementare	1,50E+00
Arsenico	3,30E+01
Rame	4,10E+02
Benzo(a)antracene	9,30E-01
Benzo(a)pirene	7,50E-01
Benzo(b)fluorantene	9,70E-01
Benzo(g,h,i)perilene	4,00E-01
Benzo(k)fluorantene	5,50E-01
Dibenzo(a,l)pirene	1,70E-01
Indenopirene	6,60E-01
PCB dl	9,00E-02

Tab. n. 38 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SP

Contaminante	CRS (mg/kg)
Mercurio elementare	2,30E+00
Alifatici C9-C18	1,01E+02

Risultati - Caso 3

- Suolo superficiale

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta ha fornito dei risultati analoghi a quelli per il caso 2:

- Rischio non accettabile da ingestione di suolo per Benzo(a)antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Arsenico, PCB dl, Dibenz(a,l)pirene;
- Rischio non accettabile da contatto dermico con il suolo per Arsenico, Benzo(a)pirene, PCB dl;
- Indice di pericolo non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 e Mercurio elementare per inalazione indoor;
- Rischio cumulato outdoor, relativamente alle sostanze che non hanno già dato rischio singolo, per Indenopirene.

Nella figura n. 62 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile per l’indice di pericolo.

<i>Fig. n. 62 – Valori Rischio SS - Sub area 5_Caso 3</i>					
Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS ridotta suolo [mg/kg s.s.]	CRS ridotta soil-gas [mg/m ³]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)
Alifatici C9-C18	5,50E+01	5,50E+01	---	---	1,36E+00
PCB Tot.	9,00E-02	9,00E-02	---	4,43E-07	---
Mercurio elementare	1,50E+00	1,50E+00	---	---	9,61E+00
Arsenico	3,30E+01	3,30E+01	---	8,48E-05	1,52E+00
Rame	4,10E+02	4,10E+02	---	---	1,35E-01
Benzo(a)antracene	9,30E-01	9,30E-01	---	1,51E-06	---
Benzo(a)pirene	7,50E-01	7,50E-01	---	2,85E-05	---
Benzo(b)fluorantene	9,70E-01	9,70E-01	---	1,57E-06	---
Benzo(g,h,i)perilene	4,00E-01	4,00E-01	---	---	2,36E-04
Benzo(k)fluorantene	5,50E-01	5,50E-01	---	8,87E-07	---
Dibenzo(a,l)pirene	1,70E-01	1,70E-01	---	2,74E-06	---
Indenopirene	6,60E-01	6,60E-01	---	1,06E-06	---
PCB dl	9,00E-02	9,00E-02	---	2,83E-03	2,29E+02
			On-site	R tot	HI tot
			Outdoor	2,95E-03	2,31E+02
			Indoor	1,05E-04	1,14E+01

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR indicate nella figura n. 63, che rappresentano le concentrazione per cui non si rileva un rischio di tipo sanitario.

Fig. n. 63 – Concentrazioni Soglia di Rischio SS - Sub area 5_Caso 3

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.]	CSR suolo superficiale [mg/kg T.Q.]	Rischio cancerogeno (R)	Indice di pericolo (HI)	Rischio Risorsa Idrica (RGW)	CSC Residenziali [mg/kg s.s.]
Alifatici C9-C18	4,03E+01		4,03E+01	3,87E+01	---	1,00E+00	NA	1,00E+01
PCB Tot.	2,03E-01		2,03E-01	1,95E-01	1,00E-06	---	NA	6,00E-02
Mercurio elementare	1,56E-01		1,56E-01	1,50E-01	---	1,00E+00	NA	1,00E+00
Arsenico	3,89E-01		3,89E-01	3,73E-01	1,00E-06	1,80E-02	NA	2,00E+01
Rame	3,04E+03		3,04E+03	2,92E+03	---	1,00E+00	NA	1,20E+02
Benzo(a)antracene	6,15E-01		6,15E-01	5,90E-01	1,00E-06	---	NA	5,00E-01
Benzo(a)pirene	2,63E-02		2,63E-02	2,53E-02	1,00E-06	---	NA	1,00E-01
Benzo(b)fluorantene	6,20E-01		6,20E-01	5,95E-01	1,00E-06	---	NA	5,00E-01
Benzo(g,h,i)perilene	1,70E+03		1,70E+03	1,63E+03	---	1,00E+00	NA	1,00E-01
Benzo(k)fluorantene	6,20E-01		6,20E-01	5,95E-01	1,00E-06	---	NA	5,00E-01
Dibenzo(a,l)pirene	6,20E-02		6,20E-02	5,95E-02	1,00E-06	---	NA	1,00E-01
Indenopirene	6,20E-01		6,20E-01	5,95E-01	1,00E-06	---	NA	1,00E-01
PCB dl	3,18E-05		3,18E-05	3,06E-05	1,00E-06	8,11E-02	NA	6,00E-02
				On-site	R tot	HI tot		
				Outdoor	9,00E-06	2,14E+00		
				Indoor	1,01E-07	2,00E+00		

Le CSR di Alifatici C9-C18, Mercurio elementare, Arsenico, PCB dl, Benzo(a)pirene, e Dibenzo(a,l)pirene, sono inferiori alle rispettive CSC, pertanto queste ultime rappresentano gli effettivi obiettivi di bonifica.

Al fine di verificare il rispetto del rischio cumulato è stata implementata un’analisi di rischio in modalità diretta in cui:

- sono state eliminate le sostanze con obiettivo di bonifica pari alla CSC;
- sono state inserite le CRS per le sostanze che non danno rischio singolo;
- sono state inserite le CSR per tutte le sostanze che danno rischio singolo.

In figura n. 64 si riportano i risultati ottenuti.

Fig. n. 64 – Rischio cumulato SS - Sub area 5_Caso 3

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)	
Rame	4,10E+02	---		4,10E+02	---	---	1,35E-01	
Benzo(a)antracene	6,15E-01	---		6,15E-01	---	1,00E-06	---	
Benzo(b)fluorantene	6,20E-01	---		6,20E-01	---	1,00E-06	---	
Benzo(g,h,i)perilene	4,00E-01	---		4,00E-01	---	---	2,36E-04	
Benzo(k)fluorantene	5,50E-01	---		5,50E-01	---	8,87E-07	---	
Indenopirene	6,20E-01	---		6,20E-01	---	1,00E-06	---	
						On-site	R tot	HI tot
						Outdoor	3,89E-06	1,35E-01
						Indoor	1,27E-09	2,12E-07

In tabella n. 39 si riportano gli obiettivi di bonifica per il suolo superficiale nel caso 3 della sub area 5, mentre in figura n. 65 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.

Tab. n. 39 – Obiettivi di Bonifica SS

Contaminanti	mg/kg s.s.
Alifatici C9-C18	1,00E+01
PCB Tot.	9,00E-02
Mercurio elementare	1,00E+00
Arsenico	2,00E+01
Rame	4,10E+02
Benzo(a)antracene	6,15E-01
Benzo(a)pirene	1,00E-01
Benzo(b)fluorantene	6,20E-01
Benzo(g,h,i)perilene	4,00E-01
Benzo(k)fluorantene	5,50E-01
Dibenzo(a,l)pirene	1,00E-01
Indenopirene	6,20E-01
PCB dl	6,00E-02

Fig. n. 65 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS - Sub area 5_Caso 3



- Suolo profondo

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell’esposizione a sostanze volatili presenti nel suolo profondo ha evidenziato Rischio non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 e per mercurio per inalazione indoor .

Nella figura n. 66 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile per l’indice di pericolo.

Fig. n. 66 – Valori dell’Indice di Pericolo SP - Sub area 5_Caso 3

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)
Mercurio elementare	2,30E+00	---		2,30E+00	---	---	1,43E+01
Alifatici C9-C18	1,01E+02	---		1,01E+02	---	---	2,43E+00

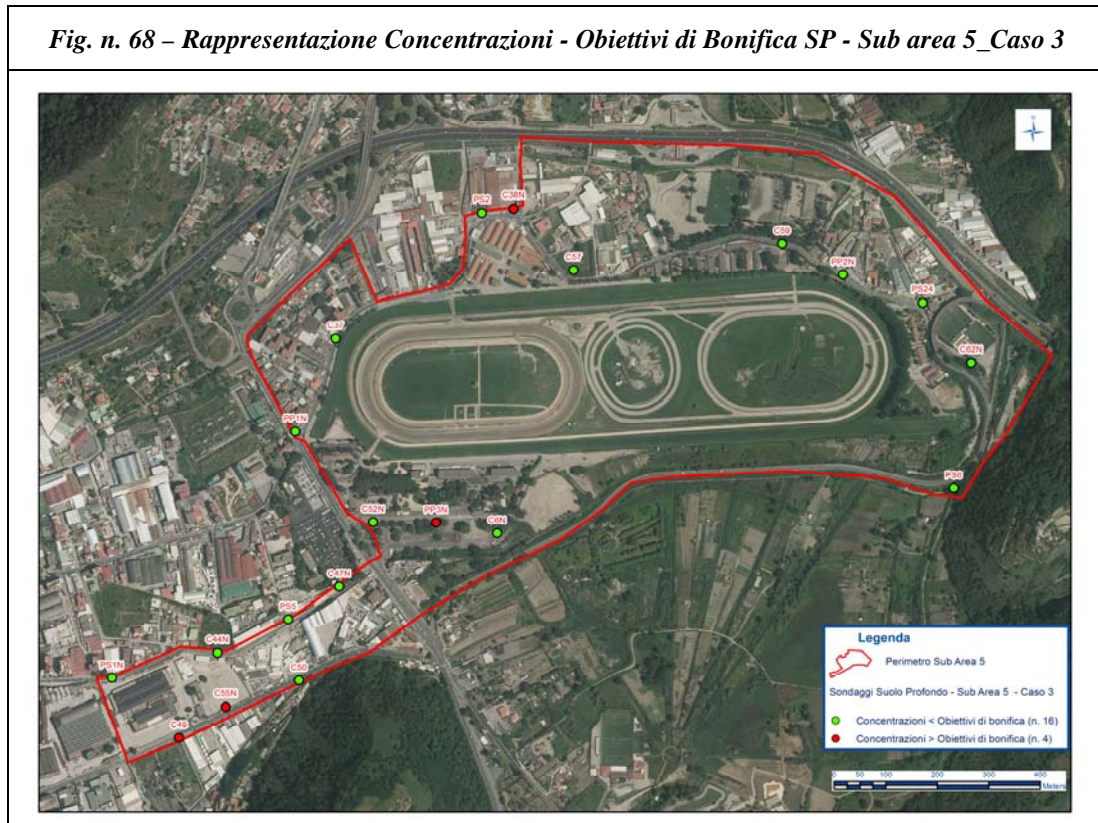
Le CSR indicate nella figura n. 67 risultano minori delle CSC, pertanto queste ultime rappresentano gli effettivi obiettivi di bonifica.

Fig. n. 67 – Concentrazioni Soglia di Rischio SP - Sub area 5_Caso 3

Contaminanti	CSR individual e [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo profondo [mg/kg s.s.]	CSR suolo profondo [mg/kg T.Q.]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC Residenziale [mg/kg s.s.]
Mercurio elementare	1,61E-01		1,61E-01	1,54E-01	---	1,00E+00	NA	1,00E+00
Alifatici C9-C18	4,15E+01		4,15E+01	3,98E+01	---	1,00E+00	NA	1,00E+01

In figura n. 68 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.

Fig. n. 68 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SP - Sub area 5_Caso 3



8.5 Conclusioni

Caso 1

L'applicazione dell'analisi di rischio alla sub area 5 nel caso 1 ha indicato la presenza di rischio non accettabile per Idrocarburi C>12 e per Mercurio sia nel suolo superficiale che nel suolo profondo. In corrispondenza delle aree che presentano concentrazioni di tali sostanze maggiori delle CSC, secondo quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 e smi, devono essere attuati idonei interventi di bonifica. Tuttavia è necessario effettuare alcune considerazioni in merito ai risultati ottenuti ai fini della scelta delle soluzioni più efficaci per gli interventi da attuare:

- dalla fase di caratterizzazione ambientale del sito è intercorso un considerevole lasso di tempo (circa 7 anni);
- 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;
- Per il Mercurio è stata selezionata, in via cautelativa, la forma che comporta il rischio maggiore per inalazione;
- 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.

Ai fini della tutela della salute umana di coloro che risiedono nella sub area 5, si ritiene che debbano essere intraprese le seguenti azioni:

- verifica attraverso analisi di speciazione delle frazioni idrocarburiche effettivamente presenti ai fini dell'attivazione del percorso di volatilizzazione e della scelta delle proprietà chimico fisiche e tossicologiche maggiormente appropriate;
- verifica analitica della presenza effettiva di Mercurio elementare in corrispondenza dei superamenti rilevati;
- misure dirette dei vapori provenienti dai suoli e utilizzo di dati di campo (misure di soil gas, campionamenti dell'aria indoor e outdoor) per la verifica dei risultati ottenuti con l'applicazione modellistica per la valutazione dell'efficacia – efficienza delle eventuali misure di prevenzione e degli eventuali interventi di bonifica da attuare;
- individuazione delle effettive sorgenti primarie della contaminazione, se ancora presenti.

Caso 2

L'applicazione dell'analisi di rischio alla sub area 5 nel caso 2 ha mostrato un rischio non accettabile per Idrocarburi pesanti, Mercurio, PCB, Arsenico e per la maggior parte degli IPA presenti. In corrispondenza delle aree a verde in prossimità dei sondaggi che presentano concentrazioni delle suddette sostanze maggiori degli obiettivi di bonifica, secondo quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 e smi, devono essere attuati idonei interventi di bonifica. Tuttavia è necessario effettuare alcune considerazioni in merito ai risultati ottenuti ai fini della scelta delle soluzioni più efficaci per gli interventi da attuare:

- dalla fase di caratterizzazione ambientale del sito è intercorso un considerevole lasso di tempo (circa 7 anni);
- i sondaggi sono stati eseguiti in corrispondenza di strade che rappresentano zone maggiormente esposte alla contaminazione di origine antropica e non nelle aree a verde residenziale oggetto del caso studio 2 della presente analisi di rischio;
- 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;
- per il Mercurio è stata selezionata, in via cautelativa, la forma che comporta il rischio maggiore;
- 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;
- Gli IPA e gli idrocarburi rappresentano inquinanti tipici di aree urbanizzate che si originano dal traffico veicolare, da impianti termici ecc..

Ai fini della tutela della salute umana dei lavoratori e di coloro che risiedono nelle aree confinanti, si ritiene che debbano essere intraprese le seguenti azioni:

- misure dirette dei vapori provenienti dai suoli e utilizzo di dati di campo (misure di soil gas, campionamenti dell'aria indoor e outdoor) per la verifica dei risultati ottenuti con l'applicazione modellistica per la valutazione dell'efficacia delle verifiche attraverso analisi di speciazione delle frazioni idrocarburiche e del Mercurio ai fini dell'attivazione del percorso di volatilizzazione e della scelta delle proprietà chimico fisiche e tossicologiche maggiormente appropriate;
- eventuali misure di prevenzione e degli eventuali interventi di bonifica da attuare;
- eventuali approfondimenti analitici nelle aree a verde residenziale in corrispondenza dei punti maggiormente critici;
- verifica dei valori degli inquinanti attraverso i dati per il monitoraggio della qualità dell'aria;

- individuazione delle effettive sorgenti primarie della contaminazione, se ancora presenti.

Caso 3

L'applicazione dell'analisi di rischio alla sub area 5 nel caso 3 ha mostrato un rischio non accettabile per Idrocarburi pesanti, Mercurio, PCB, Arsenico e per la maggior parte degli IPA presenti nel suolo superficiale e per Mercurio e Idrocarburi nel suolo profondo. In corrispondenza delle aree a verde in prossimità dei sondaggi che presentano concentrazioni delle suddette sostanze maggiori degli obiettivi di bonifica, secondo quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 e smi, devono essere attuati idonei interventi di bonifica. Tuttavia è necessario effettuare alcune considerazioni in merito ai risultati ottenuti ai fini della scelta delle soluzioni più efficaci per gli interventi da attuare:

- dalla fase di caratterizzazione ambientale del sito è intercorso un considerevole lasso di tempo (circa 7 anni);
- i sondaggi sono stati eseguiti in corrispondenza di strade che rappresentano zone maggiormente esposte alla contaminazione di origine antropica e non nelle aree a verde residenziale oggetto del caso studio 2 della presente analisi di rischio;
- 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 C_{9-C18}, che comprende anche idrocarburi C_{<12} che rappresentano l'effettiva frazione volatile;
- per il Mercurio è stata selezionata, in via cautelativa, la forma che comporta il rischio maggiore;
- 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;
- Gli IPA e gli idrocarburi rappresentano inquinanti tipici di aree urbanizzate che si originano dal traffico veicolare, da impianti termici ecc..

Ai fini della tutela della salute umana dei lavoratori e di coloro che risiedono nelle aree confinanti, si ritiene che debbano essere intraprese le seguenti azioni:

- misure dirette dei vapori provenienti dai suoli e utilizzo di dati di campo (misure di soil gas, campionamenti dell'aria indoor e outdoor) per la verifica dei risultati ottenuti con l'applicazione modellistica per la valutazione dell'efficacia – efficienza delle verifiche attraverso analisi di speciazione delle frazioni idrocarburiche e del Mercurio ai fini dell'attivazione del percorso di volatilizzazione e della scelta delle proprietà chimico fisiche e tossicologiche maggiormente appropriate;
- eventuali misure di prevenzione e degli eventuali interventi di bonifica da attuare;

- eventuali approfondimenti analitici nelle aree a verde residenziale in corrispondenza dei punti maggiormente critici;
- approfondimento delle indagini, anche attraverso monitoraggio dei prodotti nelle aree agricole, in quanto le stesse non risultano interessate direttamente dai sondaggi;
- verifica dei valori degli inquinanti attraverso i dati per il monitoraggio della qualità dell'aria;
- individuazione delle effettive sorgenti primarie della contaminazione, se ancora presenti.

9. SUB AREA 6

L'area, individuata territorialmente nell'ambito di Agnano, ha una superficie pari a 678.611 mq., essa è definita a sud dalla Tangenziale di Napoli, a nord e ad ovest dalla dorsale del cratere degli Astroni e ad est dalla strada Vicinale Micca.

L'edilizia esistente è in buona misura dovuta all'edificazione abusiva che infesta il versante settentrionale dell'area. Dall'analisi delle distribuzioni delle superfici si evidenzia che le aree residenziali occupano una parte limitata della superficie totale con una esigua percentuale di verde, altresì sono presenti aree agricole.

Le aree produttive sono ubicate esclusivamente a cavallo dell'asse viario della Tangenziale. Le attività prevalenti riguardano il settore nautico (officine, vendita, assistenza e rimessaggio), ma non mancano attività terziarie di altro genere, quali officine meccaniche, carrozzerie, autodemolizioni, ecc. Scarsissima la presenza di verde pubblico.

Dal punto di vista urbanistico, l'area in esame è regolamentata dalla seguente documentazione:

- Variante urbanistica per l'area occidentale, approvata dalla Regione Campania nell'aprile 1998;
- Variante al PRG del comune di Napoli, approvata con Decreto del Presidente della Giunta Regione Campania n. 323 del 11 giugno 2004.

Le scelte operate nelle varianti al P.R.G rispondono ad una strategia finalizzata al raggiungimento di due obiettivi principali:

- la salvaguardia dell'ambiente naturale e degli insediamenti storici, da perseguire attraverso la tutela ed il ripristino dell'integrità fisica e dell'identità culturale del territorio;
- la riqualificazione degli insediamenti esistenti e delle aree dismesse attraverso la dotazione di spazi pubblici, attrezzature e insediamenti integrati (residenziali e produttivi, connessi al turismo e alla ricerca al commercio e all'artigianato).

La destinazione urbanistica della Sub area 6 – Ambito Agnano è identificata nella zonizzazione della Variante per l'area occidentale al PRG del comune di Napoli come zone “nEa” (Aree agricole) e “nEb” (Aree incolte), mentre nella Variante del 2004 come zona “Ea” (Aree agricole), così come indicato nell'allegato 15.

9.1 Indagini dirette

Nell’ambito dell’area in esame le attività hanno riguardato la realizzazione di n. 16 sondaggi geognostici (C3, C2N, C5N, C7N, C11N, C14N, C16N, C17N, C18N, C19N, C20N, C21N, C22, C23N, C25N, C26N) con tecnica a carotaggio continuo, spinti fino ad profondità di 4 m. da p.c.

Nella scelta dell’ubicazione dei sondaggi si è tenuto conto dei punti a maggiore criticità secondo un sistema ragionato di campionamento e dei risultati delle indagini indirette.

Nel corso dell’indagine ambientale è stato effettuato il prelievo di campioni di terreno, secondo quanto previsto dall’ex D.M. 471/99, successivamente sottoposti ad analisi chimiche di laboratorio per la ricerca degli analiti elencati nel relativo Piano della Caratterizzazione, di cui al paragrafo 2.4 della presente.

Dai sondaggi sono stati prelevati n. 48 campioni di terreno e 13 campioni di top soil (C19N-TS, C21N-TS, C22-TS, C20N-TS, C23N-TS, C5N-TS, C14N-TS, C26N-TS, C2N-TS, C11N-TS, C17N-TS, C18N-TS, C25N-TS ad una profondità di 0,0 – 0,15 m.), destinati ad analisi di laboratorio per verificare lo stato qualitativo dei terreni dell’area in oggetto.

Dai sondaggi C2N, C11N, C25N, i campioni di suolo sono stati prelevati alle seguenti profondità:

- un campione rappresentativo del suolo superficiale (0,0 – 0,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (1,5 – 2,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (3,5 – 4,0 m. di profondità da p.c.).

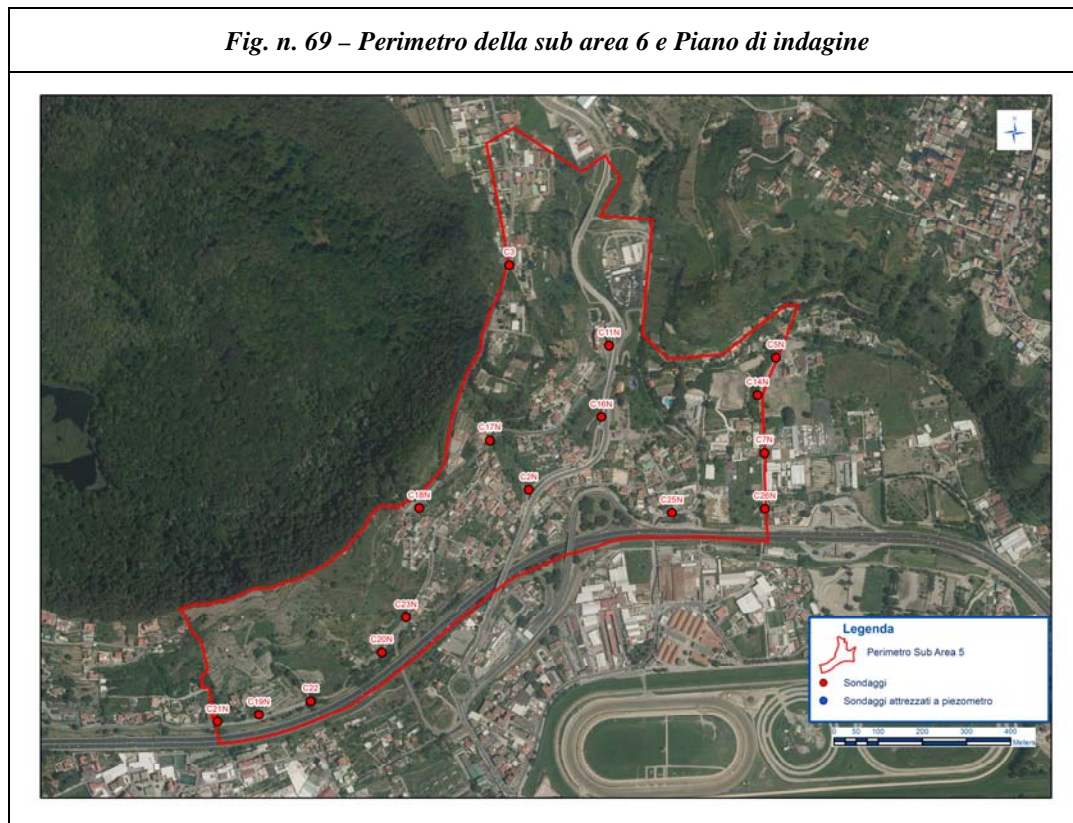
Dai sondaggi C19N, C21N, C22 e C26N, i campioni sono stati prelevati alle seguenti profondità:

- un campione rappresentativo del suolo profondo (1,5 – 2,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (2,5 – 3,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (3,5 – 4,0 m. di profondità da p.c.).

Dai rimanenti sondaggi, i campioni sono stati prelevati alle seguenti profondità:

- un campione rappresentativo del suolo superficiale e profondo (0,5 – 1,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (1,5 – 2,5 m. di profondità da p.c.);
- un campione rappresentativo del suolo profondo (3,5 – 4,0 m. di profondità da p.c.).

Nella figura n. 69 sono rappresentati su ortofoto l’area ed i sondaggi eseguiti in base al Piano di Indagine.



9.2 Risultati analisi chimiche

I risultati delle analisi chimiche eseguite sui campioni di suolo e di sottosuolo 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 verde pubblico privato e residenziale dell’area.

Dall’elaborazione dei dati contenuti nell’allegato 8, sono stati estrapolati i valori dove si è riscontrato il superamento dei limiti di riferimento. Le relative concentrazioni sono state inserite nella tabella n. 40, dove si riportano gli analiti, il carotaggio/piezometro di riferimento, le coordinate geografiche, la profondità del campione, i limiti di riferimento e la data di esecuzione:

Tab. n. 40 – Superamenti Suoli sub area 6																				
Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A (mg/kg)						20	50	10	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	10	0,06		
Sondaggio	Coord_X	Coord_Y	Soggiacenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Idrocarburi C >12	Idrocarburi C < 12	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Benzo (k) fluorantene	Dibenzo (a,h) antracene	Dibenzo(a,h)Pirene	Indeno (1,2,3 -cd) pirene	Sommatoria IPA	PCB Totali		
C19 NC2	428760	4520881	Sogg. > 4	1,5- 2,5	13/12/2007		83													
C19 NC3				2,5- 3,5		56														
C19 NC4				3,5-4																
C21 NC2	428666	4520865	Sogg. > 4	1,5- 2,5	13/12/2007			11												
C21 NC3				2,5- 3,5																
C21 NC4				3,5-4																
C22 C2	428877	4520912	Sogg. > 4	1,5- 2,5	20/12/2007		72,1*													
C22 C3				2,5- 3,5																
C22 C5				3,5-4				2,083*	2,137*	2,364*	1,674*	2,058*	0,406*		1,461*	12,183*				

Tab. n. 40 – Superamenti Suoli sub area 6																			
Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A (mg/kg)						20	50	10	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	10	0,06		
Sondaggio	Coord_X	Coord_Y	Soggiacenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Idrocarburi C > 12	Idrocarburi C < 12	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Benzo (k) fluorantene	Dibenzo (a,h) antracene	Dibenzo(a,h)Pirene	Indeno (1,2,3 -cd) pirene	Sommatoria IPA	PCB Totali	
C5N C2	429931	4521691	Sogg. > 4	0,5- 1,5	14/12/2007														
C5N C3				1,5- 2,5															
C5N C5				3,5-4			0,19		0,14										
C25 NC1	429695	4521339	Sogg. > 4	0,0- 0,5	19/12/2007	23													
C25 NC3				1,5- 2,5															
C25 NC5				3,5-4															
C2N C1	429371	4521391	Sogg. > 4	0,0- 0,5	19/12/2007		51	103											
C2N C3				1,5- 2,5															
C2N C5				3,5-4															

Tab. n. 40 – Superamenti Suoli sub area 6																				
Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A (mg/kg)						20	50	10	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	10	0,06			
Sondaggio	Coord_X	Coord_Y	Soggiacenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Idrocarburi C > 12	Idrocarburi C < 12	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Benzo (k) fluorantene	Dibenzo (a,h) antracene	Dibenzo(a,h)Pirene	Indeno (1,2,3 –cd) pirene	Sommatoria IPA	PCB Totali		
C11 NC1	429553	4521718	Sogg. > 4	0,0-0,5	11/12/2007															
C11 NC3				1,5-2,5				0,343*		0,354*			0,144*	0,322*						
C11 NC5				3,5-4			86*									0,14				
C18 NC2	429123	4521350	Sogg. > 4	0,50-1,50	19/12/2007		62												0,12	
C18 NC3				1,50-2,50																
C18 NC5				3,50-4,00			60													
* valore da validazione ARPAC																				

9.3 Parametri Sito Specifici

9.3.1 Parametri di idrogeologia locale

Il flusso idrico sotterraneo è caratterizzato dalla presenza di falde sovrapposte, in cui le caratteristiche litologiche, geometriche e meccaniche dei terreni (materiali di riporto, depositi palustri limosi e torbosi, sabbie e limi marini, depositi vulcanici e sabbie costiere) sono tali da determinare un grado di permeabilità variabile e, nel contempo, l'assenza di veri e propri livelli impermeabili, per cui le varie falde sono tra di loro interconnesse.

9.3.2 Granulometria/tessitura del suolo

Dall'esame delle stratigrafie, riportate nell'allegato 10, è possibile sintetizzare per ogni singolo sondaggio/piezometro la seguente successione litologica.

Per il sondaggio C3:

- da 0,00 a 0,30 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, asfalto e calcestruzzo.
- da 0,30 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine debolmente limosa poco addensata di colore grigio-marrone con presenza di pomici millimetriche.

Per il sondaggio C2N:

- da 0,00 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone con presenza di pomici millimetriche poco addensata e di frustoli vegetali.

Per il sondaggio C5N:

- da 0,00 a 0,30 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, asfalto e frammenti di ceramica;
- da 0,30 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore grigio con presenza di pomici millimetriche poco addensata.

Per il sondaggio C7N:

- da 0,00 a 0,30 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, asfalto e calcestruzzo;
- da 0,30 a 2,50 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore grigio con presenza di pomici millimetriche, poco addensata.
- da 2,50 a 3,10 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, poco addensata.
- da 3,10 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore grigio con presenza di pomici millimetriche, poco addensata.

Per il sondaggio C11N:

- da 0,00 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore da marrone a beige con presenza di pomici millimetriche, poco addensata.

Per il sondaggio C14N:

- da 0,00 a 0,30 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, frammenti di asfalto e calcestruzzo;
- da 0,30 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore grigio con presenza di pomici millimetriche, poco addensata.

Per il sondaggio C16N:

- da 0,00 a 0,30 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, asfalto e calcestruzzo;
- da 0,30 a 2,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, poco addensata;
- da 2,00 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine debolmente limosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche, poco addensata.

Per il sondaggio C17N:

- da 0,00 a 1,00 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale fine;
- da 1,00 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore grigio-marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.

Per il sondaggio C18N:

- da 0,00 a 1,00 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale fine;
- da 1,00 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.

Per il sondaggio C19N:

- da 0,00 a 0,80 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, ghiaia, frammenti di asfalto e ceramica;
- da 0,80 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone poco addensata.

Per il sondaggio C20:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale ghiaioso e pezzi di ceramica;
- da 0,50 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.

Per il sondaggio C21N:

- da 0,00 a 0,80 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, ghiaietto, frammenti di asfalto e ceramica;

- da 0,80 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone poco addensata.

Per il sondaggio C22N:

- da 0,00 a 0,80 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, ghiaietto, frammenti di asfalto e ceramica;
- da 0,80 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone poco addensata.

Per il sondaggio C23N:

- da 0,00 a 0,30 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia, frammenti di asfalto e ceramica;
- da 0,30 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone poco addensata.

Per il sondaggio C26N:

- da 0,00 a 0,90 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia ghiaiosa, frammenti di calcestruzzo e asfalto;
- da 0,90 a 2,00 m. circa da p.c.: sabbia grigio-nocciola con presenza di pomici millimetriche poco addensata;
- da 2,00 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici millimetriche poco addensata.

Dall'analisi delle suindicate stratigrafie è possibile individuare due orizzonti principali, classificando i terreni nel seguente modo:

- orizzonte A, costituito da materiale di riporto composto da sabbia ghiaiosa e limosa, frammenti vulcanici e residui di demolizioni, con spessori variabili da 0,00/0,30 m. a 0,00/1,00 m.;
- orizzonte B, classificabile per la maggiore come sabbia fine, con spessori variabili fino a 4,00 m. dal p.c. (fondo foro dei sondaggi non attrezzati a piezometro);

9.4 Modello concettuale sito specifico e risultati

Per la definizione del modello concettuale sono stati individuati n. 2 casi in base al tipo di bersaglio considerato ed al percorso di esposizione attivato.

- caso 1: area a verde residenziale;
- caso 3: area agricola.

Caso 1 – Area a verde residenziale

Le sorgenti di contaminazione sono state individuate nel suolo superficiale e nel suolo profondo. I percorsi di esposizione attivati sono la volatilizzazione indoor e outdoor per suolo profondo e superficiale e ingestione, contatto dermico e inalazione di polveri solo per suolo superficiale, avendo considerato che

L'area residenziale risulta caratterizzata per buona parte da aree a verde. I bersagli individuati sono i residenti. Per gli idrocarburi leggeri la frazione MADEP maggiormente cautelativa nel suolo superficiale è quella degli aromatici C9-C10, mentre nel suolo profondo è quella degli alifatici C5-C8.

Le concentrazioni rappresentative delle sorgenti corrispondenti alle massime di tutta la sub-area 6 sono indicate nelle tabelle n. 41 e n. 42.

<i>Tab. n. 41 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SS</i>	
Contaminante	CRS (mg/kg)
Alifatici C9-C18	6,20E+01
PCB Tot.	1,20E-01
Arsenico	2,30E+01
PCB dl	1,20E-01
Aromatici C9-C10	1,03E+02

<i>Tab. n. 42 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SP</i>	
Contaminante	CRS (mg/kg)
Alifatici C9-C18	8,60E+01
PCB Tot.	8,20E-02
Alifatici C5-C8	1,10E+01

Risultati - Caso 1

- Suolo superficiale

L'elaborazione dell'analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell'esposizione ai contaminanti presenti nel suolo superficiale ha evidenziato Rischio non accettabile da ingestione e contatto dermico per Arsenico e PCB dl e da inalazione vapori indoor per idrocarburi alifatici C9-C18 e aromatici C9-C10.

Nella figura n. 70 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile per l'indice di pericolo.

Fig. n. 70 – Valori Rischio SS - Sub area 6_Caso 1

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)
Alifatici C9-C18	6,20E+01	---		6,20E+01	---	---	1,54E+00
PCB Tot.	1,20E-01	---		1,20E-01	---	6,67E-07	---
Arsenico	2,30E+01	---		2,30E+01	---	5,91E-05	1,06E+00
PCB dl	1,20E-01	---		1,20E-01	---	4,15E-03	3,07E+02
Aromatici C9-C10	1,03E+02	---		1,03E+02	---	---	1,85E+01

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione della CSR indicata nella figura n. 71, che rappresenta la concentrazione al di sotto della quale non si rileva un rischio di tipo sanitario.

Fig. n. 71 – Concentrazioni Soglia di Rischio SS - Sub area 6_Caso 1

Contaminanti	CSR individua le [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzi one (f) [adim]	CSR suolo superficial e [mg/kg s.s.]	CSR suolo superficial e [mg/kg T.Q.]	Rischio canceroge no (R)	Indice di pericolo (HI)	Rischio Risorsa Idrica (RGW)	CSC Residenz iali [mg/kg s.s.]	CSC Industriali [mg/kg s.s.]
Alifatici C9-C18	4,03E+01		4,03E+01	3,87E+01	---	1,00E+00	NA	1,00E+01	2,50E+02
PCB Tot.	1,80E-01		1,80E-01	1,73E-01	1,00E-06	---	NA	6,00E-02	5,00E+00
Arsenico	3,89E-01		3,89E-01	3,73E-01	1,00E-06	1,80E-02	NA	2,00E+01	5,00E+01
PCB dl	2,89E-05		2,89E-05	2,78E-05	1,00E-06	7,41E-02	NA	6,00E-02	5,00E+00
Aromatici C9-C10	5,55E+00		5,55E+00	5,33E+00	---	1,00E+00	NA	1,00E+01	2,50E+02

Le CSR di tutti i contaminanti sono inferiori alle CSC pertanto queste rappresentano gli effettivi obiettivi di bonifica. In figura n. 72 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.

Fig. n. 72 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS - Sub area 6_Caso 1



- Suolo profondo

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell’esposizione a sostanze volatili presenti nel suolo profondo ha evidenziato Rischio non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 e C5-C8 per inalazione indoor.

Nella figura n. 73 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile per l’indice di pericolo.

Fig. n. 73 – Valori dell’Indice di Pericolo SP - Sub area 6_Caso 1

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)
Alifatici C9-C18	8,60E+01	---		8,60E+01	---	---	2,07E+00
PCB Tot.	8,20E-02	---		8,20E-02	---	2,46E-08	---
Alifatici C5-C8	1,10E+01	---		1,10E+01	---	---	1,06E+01

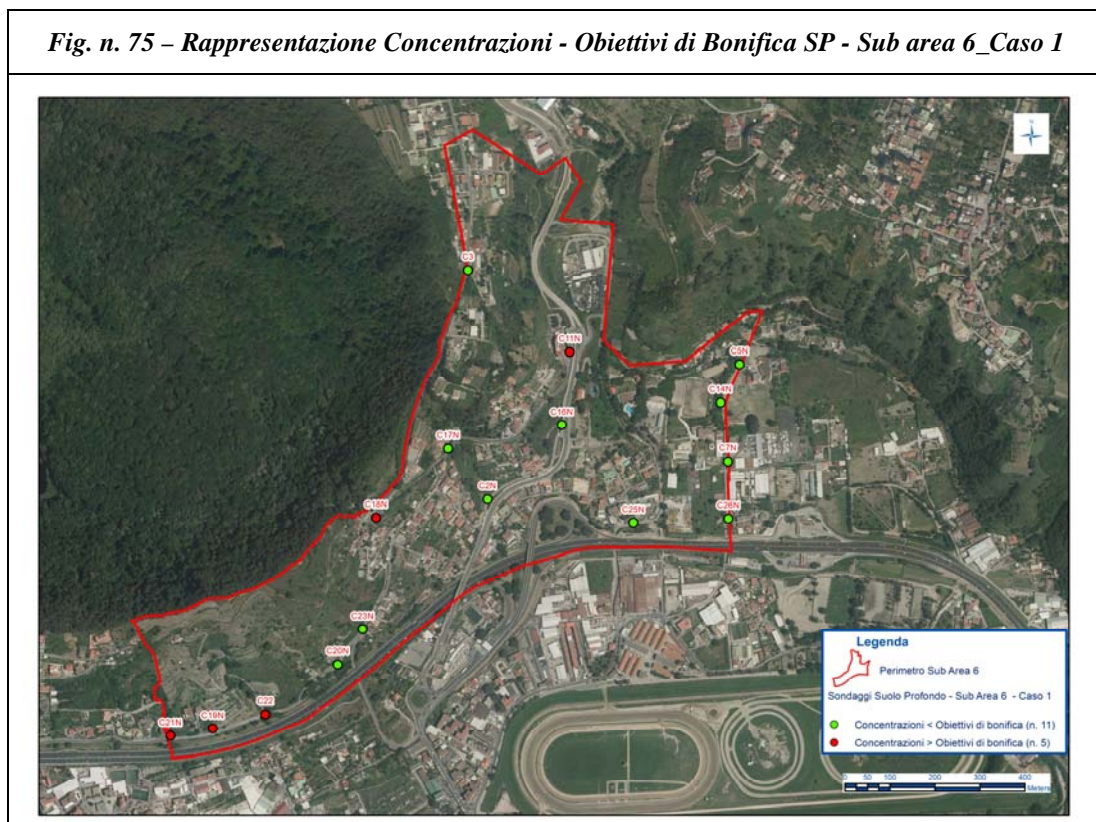
La CSR degli idrocarburi pesanti è minore della CSC, pertanto quest’ultima rappresenta l’effettivo obiettivo di bonifica. In figura n. 74, si riportano i valori delle CSR.

Fig. n. 74 – Concentrazioni Soglia di Rischio SP - Sub area 6_Caso 1

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo profondo [mg/kg s.s.]	CSR suolo profondo [mg/kg T.Q.]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC Residenziale [mg/kg s.s.]
Alifatici C9-C18	4,15E+01		4,15E+01	3,98E+01	---	1,00E+00	NA	1,00E+01
PCB Tot.	3,33E+00		3,33E+00	3,20E+00	1,00E-06	---	NA	6,00E-02
Alifatici C5-C8	1,03E+00		1,03E+00	9,92E-01	---	1,00E+00	NA	1,00E+01

In figura n. 75 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.

Fig. n. 75 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SP - Sub area 6_Caso 1



Caso 2 – Area agricola

La sub area 6, così come descritto nel paragrafo 9 è caratterizzata oltre che da edifici residenziali anche da aree agricole. Le sorgenti di contaminazione sono costituite dai suoli superficiale e profondo ed i percorsi attivati sono l’inalazione di vapori per entrambe le sorgenti e l’ingestione, il contatto dermico e inalazione di polveri esclusivamente per il suolo superficiale. I bersagli sono i lavoratori agricoli.

Le concentrazioni rappresentative delle sorgenti corrispondenti alle massime di tutta la sub-area 6 sono indicate nelle tabelle n. 43 e n. 44.

Tab. n. 43 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SS

Contaminante	CRS (mg/kg)
Alifatici C9-C18	6,20E+01
PCB Tot.	1,20E-01
Arsenico	2,30E+01
PCB dl	1,20E-01
Aromatici C9-C10	1,03E+02

Tab. n. 44 – Concentrazioni rappresentative della sorgente SP

Contaminante	CRS (mg/kg)
Alifatici C9-C18	8,60E+01
PCB Tot.	8,20E-02
Alifatici C5-C8	1,10E+01

Risultati - Caso 2

- Suolo superficiale

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

- Rischio non accettabile da ingestione e contatto dermico per PCB dl e Arsenico.

Nella figura n. 76 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.

Fig. n. 76 – Valori del Rischio SS - Sub area 6_Caso 2

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)
Alifatici C9-C18	6,20E+01	---		6,20E+01	---	---	9,28E-03
PCB Tot.	1,20E-01	---		1,20E-01	---	1,65E-07	---
Arsenico	2,30E+01	---		2,30E+01	---	8,42E-06	5,24E-02
PCB dl	1,20E-01	---		1,20E-01	---	1,00E-03	2,43E+01
Aromatici C9-C10	1,03E+02	---		1,03E+02	---	---	6,07E-02

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR indicate nella figura n. 77 che rappresentano le concentrazione per cui non si rileva un rischio di tipo sanitario.

Fig. n. 77 – Concentrazioni Soglia di Rischio SS - Sub area 6_Caso 2

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.]	CSR suolo superficiale [mg/kg T.Q.]	Rischio cancerogeno (R)	Indice di pericolo (HI)
Alifatici C9-C18	6,68E+03	2,30E+00	2,90E+03	2,79E+03	---	4,35E-01
PCB Tot.	7,29E-01		7,29E-01	7,00E-01	1,00E-06	---
Arsenico	2,73E+00		2,73E+00	2,62E+00	1,00E-06	6,22E-03
PCB dl	1,20E-04		1,20E-04	1,15E-04	1,00E-06	2,42E-02
Aromatici C9-C10	1,70E+03	2,00E+00	8,48E+02	8,14E+02	---	5,00E-01
				On-site	R tot	HI tot
				Outdoor	3,00E-06	9,65E-01

Le CSR di Arsenico e PCB sono inferiori alle rispettive CSC, pertanto queste ultime rappresentano gli effettivi obiettivi di bonifica. Mentre ai fini del rispetto del rischio cumulato sono state inseriti opportuni fattori di correzione. In figura n. 78 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.

Fig. n. 78 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica SS - Sub area 6_Caso 2



- Suolo profondo

L'applicazione dell'analisi di rischio in modalità diretta ha mostrato un rischio accettabile per tutti i contaminanti rinvenuti nel suolo profondo, così come si evince nella figura n. 79.

Fig. n. 79 – Valori dell'Indice di Pericolo SP - Sub area 6_Caso 2

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)
Alifatici C9-C18	8,60E+01	---		8,60E+01	---	---	3,24E-02
PCB Tot.	8,20E-02	---		8,20E-02	---	1,62E-09	---
Alifatici C5-C8	1,10E+01	---		1,10E+01	---	---	1,22E-02
					On-site	R tot	HI tot
					Outdoor	1,62E-09	4,45E-02

L'elaborazione dell'analisi di rischio in modalità inversa ha portato all'individuazione delle CSR indicate nella figura n. 80, che rappresentano le concentrazione per cui non si rileva un rischio di tipo sanitario.

Ai fini del rispetto del rischio cumulato sono state inseriti opportuni fattori di correzione.

Fig. n. 80 – Concentrazioni Soglia di Rischio SP - Sub area 6_Caso 2

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo profondo [mg/kg s.s.]	CSR suolo profondo [mg/kg T.Q.]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)
Alifatici C9-C18	2,66E+03	2,00E+00	1,33E+03	1,28E+03	---	5,00E-01
PCB Tot.	5,05E+01		5,05E+01	4,85E+01	1,00E-06	---
Alifatici C5-C8	9,03E+02	2,00E+00	4,52E+02	4,34E+02	---	5,00E-01
				On-site	R tot	HI tot
				Outdoor	1,00E-06	1,00E+00

9.5 Conclusioni

Caso 1

L'applicazione dell'analisi di rischio alla sub area 3 nel caso 1 ha indicato la presenza di rischio non accettabile per Idrocarburi C>12 e per Mercurio nel suolo superficiale e C>12 nel suolo profondo. In corrispondenza delle aree che presentano concentrazioni di tali sostanze maggiori delle CSC, secondo quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 e smi, devono essere attuati idonei interventi di bonifica. Tuttavia è necessario effettuare alcune considerazioni in merito ai risultati ottenuti ai fini della scelta delle soluzioni più efficaci per gli interventi da attuare:

- dalla fase di caratterizzazione ambientale del sito è intercorso un considerevole lasso di tempo (circa 7 anni);
- 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;
- ai PCB, per i percorsi diretti è stata attribuita tutta la contaminazione ai congeneri più tossici, in mancanza di dati specifici;
- la presenza di arsenico potrebbe essere riconducibile alle caratteristiche geochimiche dell'area;
- 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.

Ai fini della tutela della salute umana di coloro che risiedono nella sub area 6, si ritiene che debbano essere intraprese le seguenti azioni:

- verifica attraverso analisi di speciazione delle frazioni idrocarburiche effettivamente presenti ai fini dell’attivazione del percorso di volatilizzazione e della scelta delle proprietà chimico fisiche e tossicologiche maggiormente appropriate;
- verifica analitica dei congeneri di PCB effettivamente presenti;
- stabilire se i superamenti dell’arsenico sono riconducibili a valori di fondo naturale;
- misure dirette dei vapori provenienti dai suoli e utilizzo di dati di campo (misure di soil gas, campionamenti dell’aria indoor e outdoor) per la verifica dei risultati ottenuti con l’applicazione modellistica per la valutazione dell’efficacia – efficienza delle eventuali misure di prevenzione e degli eventuali interventi di bonifica da attuare;
- individuazione delle effettive sorgenti primarie della contaminazione, se ancora presenti.

Caso 2

L’applicazione dell’analisi di rischio alla sub area 6 nel caso 2 ha mostrato un rischio non accettabile per Arsenico e PCB nel suolo superficiale per il lavoratore agricolo. In corrispondenza delle aree agricole in prossimità dei sondaggi che presentano concentrazioni delle suddette sostanze maggiori delle CSC, secondo quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 e smi, devono essere attuati idonei interventi di bonifica. Tuttavia è necessario effettuare alcune considerazioni in merito ai risultati ottenuti ai fini della scelta delle soluzioni più efficaci per gli interventi da attuare:

- dalla fase di caratterizzazione ambientale del sito è intercorso un considerevole lasso di tempo (circa 7 anni);
- i sondaggi sono stati eseguiti in corrispondenza di strade che rappresentano zone maggiormente esposte alla contaminazione di origine antropica e non nelle aree agricole oggetto del caso studio 2 della presente analisi di rischio;
- la contaminazione riscontrata per i PCB è stata associata ai PCB dl che rappresentano i congeneri con la più elevata tossicità e pertanto sovrastimano il rischio;
- la presenza di arsenico nell’area flegrea potrebbe essere legata alle caratteristiche geochimiche dell’area.

Ai fini della tutela della salute umana dei lavoratori e di coloro che risiedono nelle aree confinanti, si ritiene che debbano essere intraprese le seguenti azioni:

- eventuali approfondimenti analitici nelle aree agricole in corrispondenza dei punti maggiormente critici;
- individuazione dei congeneri di PCB effettivamente presenti nei suoli superficiali;
- individuazione delle effettive sorgenti primarie della contaminazione, se ancora presenti;

- stabilire se i superamenti dell'arsenico sono riconducibili a valori di fondo naturale;
- verifica attraverso analisi di speciazione delle frazioni idrocarburiche e del Mercurio ai fini dell'attivazione del percorso di volatilizzazione e della scelta delle proprietà chimico fisiche e tossicologiche maggiormente appropriate.

10. FALDA INTERO SITO

L’analisi di rischio per la falda delle aree RSA dell’ex SIN Bagnoli – Coroglio è stata sviluppata per l’intero sito, in quanto si è ritenuta la scelta più ragionevole in relazione alle caratteristiche della matrice ambientale esaminata, la cui costituzione come corpo idrico unico non ne consente la suddivisione in diversi settori. 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, date la tipologia di area (area urbana ed agricola) e di caratterizzazione effettuata, si ritiene che non abbia molto 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 precisa che le CSR calcolate per le sostanze in falda sono puramente 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.

10.1 Indagini dirette

Nell’ambito dell’area in esame le attività hanno riguardato la realizzazione di n. 37 sondaggi geognostici con tecnica a carotaggio continuo completati a pozzi di monitoraggio della falda, distinti a seguire in funzione della profondità:

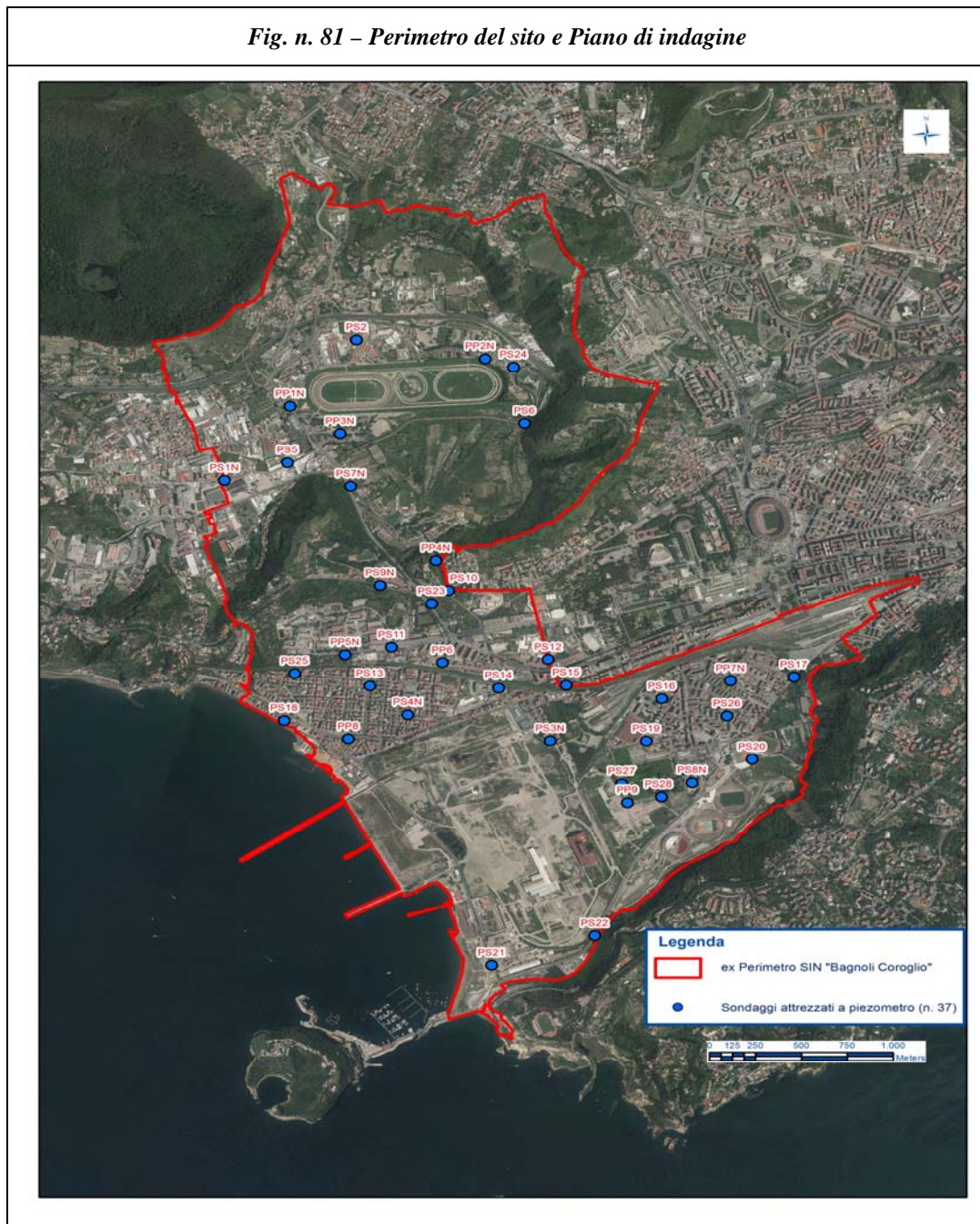
- PS6, spinto fino ad profondità di 12 m. da p.c.;
- PS24 e PS7N, spinti fino ad profondità di 14 m. da p.c.;
- PS2N e PS5N, spinti fino ad una profondità di 15 m. da p.c.;
- PS21, PS28N, PS8N, PS26N, PS17N, PS1N, PS27, PS22, PS19N, PS18N, PS20, PS3N, PS15N, PS12, PS13, PS14, PS16N, PS4, spinti fino ad una profondità di 21 m. da p.c.;
- PE2N, spinto fino ad profondità di 22 m. da p.c.;
- PE3N, spinto fino ad profondità di 27 m. da p.c.;
- PS9N e PS25N, spinti fino ad profondità di 30 m. da p.c.;
- PS23N, spinto fino ad profondità di 43 m. da p.c.;
- PP9, PP6, PP8 e PP7, spinti fino ad profondità di 45 m. da p.c.;
- PP4N, PP2N, PP3N, PP5N e PP1N, spinti fino ad profondità di 50 m. da p.c.

Nel corso dell’indagine ambientale è stato effettuato il prelievo di campioni d’acqua, secondo quanto previsto dall’ex D.M. 471/99, successivamente sottoposti ad analisi chimiche di laboratorio per la ricerca degli analiti elencati nel relativo Piano della Caratterizzazione, di cui al paragrafo 2.4 della presente.

Dai piezometri sono stati prelevati n. 37 campioni di acque di falda, destinati ad analisi di laboratorio per verificare lo stato qualitativo delle acque sotterranee dell’area in oggetto.

Nella figura n. 81 sono rappresentati su ortofoto l’area ed i piezometri eseguiti in base al Piano di Indagine.

Fig. n. 81 – Perimetro del sito e Piano di indagine



10.2 Risultati analisi chimiche

I risultati delle analisi chimiche eseguite sui campioni di acque di falda, hanno invece 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).

Nella tabella n. 45 si riportano gli analiti per cui è stato rilevato almeno un superamento delle CSC, il piezometro di riferimento, le coordinate geografiche, la profondità del campione, i limiti di riferimento e la data di esecuzione. Si fa presente che nel piezometro PS19N, è stato riscontrato un superamento di 12.000.000 µg/l per gli idrocarburi totali come n-esano, dovuto alla presenza di prodotto surnatante, per cui ai fini dell’elaborazione dell’analisi di rischio per la sorgente falda, tale valore è stato escluso.

Tab. n. 45 – Superamenti Acque

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.2 - (µg/l)																																						
PS5N	PS4N	PS3N	PS2	PS1N	Sondaggio																																	
429313	429968	430745	429689	428971	Coord_X	Coord_Y	Soggiacenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Manganese	Nichel	Piombo	Benzene	Toluene	Idrocarburi totali come n-esano	Benzo(a)antracene	Benzo(a)pirene	Benzo(b)fluorantene	Benzo(g,h,i)perilene	Benzo(k)fluorantene	Dibenzo(a,h)antracene	Indeno(1,2,3,c-d)pirene	Sommatoria policiclici	1,1 Dicloroetilene	2,4,6 Triclorofenolo	Alaclor	Aldrin	Atrazina	Clordano	PCB totali	Ferro	Alluminio	Nitrati	Azoto ammoniacale			
03/03/2008	14/03/2008	29/02/2008	26/02/2008	26/02/2008	26/02/2008	26/02/2008	26/02/2008	26/02/2008	26/02/2008	52	330																											
										109	110*					440*																						
										170	140					464*																						
											400																											
											340																											

Tab. n. 45 – Superamenti Acque

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.2 - (µg/l)						10	50	20	10	1	15	350	0,1	0,01	0,1	0,01	0,05	0,01	0,1	0,05	5	0,1	0,03	0,3	0,1	0,01	200	200	20000	500
PS22	PS21	PS20	PS19N	PS18N	Sondaggio																									
430987	430425	431844	431268	429295	Coord_X																									
4517286	4517096	4518424	4518542	4518674	Coord_Y																									
3,27	1,75	11,38	6,70	3,42	Soggiacenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)																									
21	21	21	21	21	Profondità (m)																									
25/02/2008	20/02/2008	29/02/2008	28/02/2008	29/02/2008	Data prelievo																									
33	27,4*	16	25	200	Arsenico																									
	1300	840	9500	900	Manganese																									
					Niche																									
					Piombo																									
					Benzene																									
					Toluene																									
	1200*		**12000000		Idrocarburi totali come n-esano																									
			4,3		Benzo(a)antracene																									
			0,53		Benzo(a)pirene																									
			0,77		Benzo(b)fluorantene																									
			0,47		Benzo(g,h,i)perilene																									
			0,31		Benzo(k)fluorantene																									
			0,066		Dibenzo(a,h)antracene																									
					Indeno(1,2,3,c-d)pirene																									
					Sommatoria policiclici																									
	0,15				1,1 Dicloroetilene																									
					2,4,6 Triclorofenolo																									
					Alaclor																									
					Aldrin																									
					Atrazina																									
					Clordano																									
	0,017*				PCB totali																									
	13550*				Ferro																									
	310				Alluminio																									
					Nitrati																									
	768*				Azoto ammoniacale																									

Tab. n. 45 – Superamenti Acque

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.2 - (µg/l)						10	50	20	10	1	15	350	0,1	0,01	0,1	0,01	0,05	0,01	0,1	0,1	0,05	5	0,1	0,03	0,3	0,1	0,01	200	200	20000	500		
Sondaggio	Coord_X	Coord_Y	Soggiacenza falda dal p.c./ Sondaggio (m)	Profondità (m)	Data prelievo	Arsenico	Manganese	Nichel	Piombo	Benzene	Toluene	Idrocarburi totali come n-esano	Benzo(a)antracene	Benzo(a)pirene	Benzo(b)fluorantene	Benzo(g,h,i)perilene	Benzo(k)fluorantene	Dibenzo(a,h)antracene	Indeno(1,2,3,c-d)pirene	Sommatoria policiclici	1,1 Dicloroetilene	2,4,6 Triclorofenolo	Alaclor	Aldrin	Atrazina	Clordano	PCB totali	Ferro	Alluminio	Nitrati	Azoto ammoniacale		
PP6	430157	4519049	21,66	45	05/03/2008	200*	790	61,6*				540*																					
PP7	431727	4518932	11,60	45	14/03/2008	12																											
PP8	429645	4518556	7,30	45	13/03/2008	220*	330																										
PE2N	431197	4519187	15	22	26/02/2008		1000					588*															0,027*						
PE3N	432136	4519931	25,05	27	27/02/2008		1400						0,015			0,016																	

* valore da validazione ARPAC

**presenza di prodotto surmatante

10.3 Parametri Sito Specifici

10.3.1 Parametri di idrogeologia locale

Il flusso idrico sotterraneo è caratterizzato dalla presenza di falde sovrapposte, in cui le caratteristiche litologiche, geometriche e meccaniche dei terreni (materiali di riporto, depositi palustri limosi e torbosi, sabbie e limi marini, depositi vulcanici e sabbie costiere) sono tali da determinare un grado di permeabilità variabile e, nel contempo, l’assenza di veri e propri livelli impermeabili, per cui le varie falde sono tra di loro interconnesse.

L’acquifero intercettato è posto a profondità medie comprese tra i 1,75 e i 39,10 m. dal piano campagna, valori di soggiacenza definiti in base all’elaborazione dei dati contenuti negli allegati 12 e 13 e riportati nella tabella n. 46.

Tab. n. 46 – Valori di soggiacenza falda	
Piezometro	Soggiacenza da p.c. (m)
PS1N	17,96
PS2	9,34
PS3N	10,71
PS4N	10,78
PS5N	9,03
PS6	6,30
PS7N	7,05
PS8N	7,90
PS9N	24,20
PS12N	14,30
PS13	19,60
PS14	14,60
PS15N	17,98
PS16N	11,25
PS17N	14,48
PS18N	3,42
PS19N	6,70
PS20	11,38
PS21	1,75
PS22	3,27

Tab. n. 46 – Valori di soggiacenza falda	
Piezometro	Soggiacenza da p.c. (m)
PS23N	39,10
PS24	5,30
PS25N	19,50
PS26N	10,30
PS27	7,70
PS28N	7,60
PP1N	7,30
PP2N	4,67
PP3N	4,30
PP4N	22,33
PP5N	27,60
PP6	21,66
PP7	11,60
PP8	7,30
PP9	7,69
PE2N	15
PE3N	25,05

10.3.2 Granulometria/tessitura del suolo

Dall’esame delle stratigrafie, riportate nell’allegato 10, è possibile sintetizzare per ogni singolo piezometro la seguente successione litologica.

Per il piezometro PP8:

- da 0,00 a 1,00 m. circa da p.c. : materiale di riporto costituito da sabbia limosa con frammenti di laterizi;
- da 1,00 a 2,50 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici millimetriche poco addensata;
- da 2,50 a 5,50 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore grigio con presenza di pomici millimetriche poco addensata;
- da 5,50 a 9,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore grigio-giallognolo con presenza di pomici da millimetriche a centimetriche e frammenti tufacei poco addensata;

- da 9,00 a 12,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche, addensata;
- da 12,00 a 25,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore grigio con presenza di pomici da millimetriche a centimetriche e frammenti tufacei di dimensioni 3- 4 cm;
- da 25,00 a 30,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore grigio con presenza di pomici eterometriche, scorie e lapilli;
- da 30,00 a 43,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore grigio con presenza di pomici da millimetriche a centimetriche e frammenti tufacei di dimensioni 3- 4 cm;
- da 43,00 a 45,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore grigio con presenza di pomici millimetriche, addensata.

Per il piezometro PS3N:

- da 0,00 a 2,00 m. circa da p.c. : materiale di riporto costituito da limo sabbioso marrone con diffusa presenza di pomici e clasti calcarei;
- da 2,00 a 5,00 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da limo sabbioso di colore variabile da marrone chiaro a grigio con presenza di pomici;
- da 5,00 a 6,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da limo sabbioso marrone con elevata presenza di pomici;
- da 6,50 a 11,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore grigio ricca di pomici millimetriche;
- da 11,00 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore grigio ricca di pomici millimetriche.

Per il piezometro PS4N:

- da 0,00 a 0,70 m. circa da p.c. : materiale di riporto costituito da sabbia e ciottoli vulcanici;
- da 0,70 a 1,50 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, poco addensata;
- da 1,50 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore giallastro con presenza di pomici millimetriche, poco addensata;
- da 5,00 a 9,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici millimetriche;
- da 9,00 a 11,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore grigio con presenza di pomici di dimensioni da millimetriche a centimetriche, addensata;
- da 11,00 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni da millimetriche a centimetriche, addensata.

Per il piezometro PS13:

- da 0,00 a 1,40 m. circa da p.c.: sabbia media moderatamente addensata di colore marrone con presenza di resti vegetali e di clasti pomicei da millimetrici a centimetrici;

- da 1,40 a 6,00 m. circa da p.c.: sabbia fine da moderatamente a mediamente addensata di colore giallastro con presenza di clasti pomicei millimetrici;
- da 6,00 a 8,50 m. circa da p.c.: limo sabbioso poco consistente di colore marrone scuro, che passa verso il basso a sabbia limosa moderatamente addensata;
- da 8,50 a 10,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone scuro con pomici eterometriche;
- da 10,00 a 12,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone scuro, moderatamente addensata, con pomici eterometriche;
- da 12,50 a 13,50 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone scuro, mediamente addensata, con pomici eterometriche;
- da 13,50 a 17,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone chiaro con abbondanti pomici eterometriche;
- da 17,00 a 18,00 m. circa da p.c.: limo sabbioso di colore grigio, moderatamente consistente, con pomici millimetriche;
- da 18,00 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone, poco addensata, con presenza di clasti eterogenei ed eterometrici.

Per il piezometro PS14:

- da 0,00 a 0,20 m. circa da p.c. : massetto cementizio;
- da 0,20 a 3,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone scuro, moderatamente addensata;
- da 3,00 a 9,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone chiaro, moderatamente addensata;
- da 9,00 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone rossastro, moderatamente addensata.

Per il piezometro PS25N:

- da 0,00 a 1,50 m. circa da p.c. : terreno di riporto costituito da materiale fine sciolto;
- da 1,50 a 5,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche;
- da 5,50 a 10,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone ricca di pomici millimetriche, con livelli scoriacei intercalati;
- da 10,00 a 17,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche;
- da 17,50 a 30,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche.

Per il piezometro PS18N:

- da 0,00 a 2,00 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da ghiaia e sabbia color ocra;

- da 2,00 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone chiaro con presenza di pomici millimetriche;
- da 5,00 a 10,50 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone con presenza di pomici millimetriche;
- da 10,50 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore nero con presenza di pomici millimetriche.

Per il sondaggio PP7:

- da 0,00 a 0,90 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da limo sabbioso con pomici eterometriche;
- da 0,90 a 8,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche;
- da 8,00 a 9,00 m. circa da p.c.: paleosuolo costituito da sabbia limosa di colore marrone scuro con presenza di pomici millimetriche;
- da 9,00 a 10,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore grigio chiaro ricca di pomici millimetriche;
- da 10,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone chiaro con presenza di pomici millimetriche;
- da 15,00 a 29,60 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone-rossastro con presenza di pomici millimetriche;
- da 29,60 a 31,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore grigio-giallastro con presenza di pomici millimetriche;
- da 31,50 a 33,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche;
- da 33,00 a 35,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore grigio chiaro;
- da 35,00 a 38,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche;
- da 38,00 a 45,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche.

Per il sondaggio PS8N:

- da 0,00 a 1,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia e ghiaia di colore giallastro;
- da 1,50 a 8,50 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, poco addensata;
- da 8,50 a 10,80 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore marrone con presenza di pomici eterometriche;

- da 10,80 a 12,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, addensata;
- da 12,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone, poco addensata;
- da 15,00 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore marrone con presenza di pomici eterometriche, poco addensata.

Per il sondaggio PS16N:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia e ghiaia sciolte con rari frammenti di laterizi millimetrici;
- da 0,50 a 8,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone, mediamente addensata, con presenza di pomici millimetriche;
- da 8,00 a 9,50 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone chiaro, mediamente addensata, con presenza di pomici millimetriche;
- da 9,50 a 10,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore giallastro, mediamente addensata;
- da 10,50 a 12,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone chiaro, mediamente consistente;
- da 12,00 a 13,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone scuro, mediamente addensata;
- da 13,00 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone chiaro, con presenza di pomici eterometriche.

• Per il sondaggio PS17N:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia e ghiaia sciolte e frammenti di laterizi;
- da 0,50 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone scuro, mediamente addensata;
- da 5,00 a 6,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone chiaro, mediamente addensata;
- da 6,00 a 9,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone scuro, mediamente addensata;
- da 9,00 a 10,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone chiaro, poco consistente;
- da 10,50 a 11,00 m. circa da p.c.: livello ghiaioso-sabbioso ocra;
- da 11,60 a 12,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone chiaro, poco consistente;
- da 12,50 a 14,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone, mediamente addensata;
- da 14,00 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone, mediamente addensata, con presenza di pomici millimetriche.

Per il sondaggio PS20:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia e ghiaia;
- da 0,50 a 12,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone, mediamente addensata;

- da 12,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore marrone con presenza di pomici eterometriche, poco addensata;
- da 15,00 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone con presenza di pomici eterometriche, poco addensata.

Per il sondaggio PS26N:

- da 0,00 a 3,00 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da sabbia fine con frammenti di conglomerato cementizio;
- da 3,00 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone chiaro, mediamente addensata;
- da 4,00 a 8,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone chiaro, mediamente addensata, con diffusa presenza di pomici da millimetriche a centimetriche;
- da 8,00 a 12,40 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone chiaro, mediamente addensata, con presenza di pomici millimetriche;
- da 12,40 a 16,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone chiaro;
- da 16,50 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone scuro, mediamente addensata,.

Per il sondaggio PS19N:

- da 0,00 a 2,80 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia con ghiaia;
- da 2,80 a 8,40 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici;
- da 8,40 a 9,00 m. circa da p.c.: paleosuolo costituito da sabbia di colore nero con presenza di pomici;
- da 9,00 a 10,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone debolmente limosa;
- da 10,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone ricca di pomici;
- da 15,00 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore marrone.

Per il sondaggio PP5N:

- da 0,00 a 1,00 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da asfalto, ceramica, vetro e laterizi;
- da 1,00 a 10,50 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, poco addensata;
- da 10,50 a 13,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche, addensata;
- da 13,00 a 16,50 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone, ghiaie di dimensioni 2- 3 cm, poco addensata;
- da 16,50 a 22,00 m. circa da p.c.: sabbia debolmente ghiaiosa di colore marrone, ghiaie di dimensioni 2- 3 cm, poco addensata;
- da 22,00 a 33,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore giallo-rossiccio con presenza di pomici eterometriche, di frammenti tufacei di dimensioni 2-3 cm, scorie e lapilli;

- da 33,00 a 33,20 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore grigia con presenza di pomici eterometriche di dimensioni centimetriche, poco addensata;
- da 33,20 a 36,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore grigio con presenza di pomici eterometriche, poco addensata;
- da 36,00 a 45,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore nero con presenza di frammenti litici di dimensioni 2-3 cm, scorie e lapilli.

Per il sondaggio PP6:

- da 0,00 a 2,00 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia grossolana con frammenti di laterizi;
- da 2,00 a 6,50 m. circa da p.c.: sabbia fine limosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche, poco addensata;
- da 6,50 a 8,00 m. circa da p.c.: paleosuolo sabbioso di colore nero, mediamente addensato;
- da 8,00 a 10,90 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore verde, addensata;
- da 10,90 a 22,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore grigio scuro con presenza di pomici millimetriche, addensata;
- da 22,00 a 45,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore grigio con presenza di pomici eterometriche, di frammenti litici di dimensioni 2-3 cm, scorie e lapilli.

Per il sondaggio PS15N:

- da 0,00 a 1,50 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale fine sciolto;
- da 1,50 a 5,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore variabile da marrone scuro a ocre con presenza di pomici millimetriche;
- da 5,50 a 9,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone ricca di pomici millimetriche;
- da 9,00 a 12,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore grigio-giallastro ricca di pomici millimetriche;
- da 12,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone;
- da 15,00 a 17,50 m. circa da p.c.: sabbia con ghiaia di colore marrone chiaro;
- da 17,50 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche.

Per il sondaggio PS12N:

- da 0,00 a 2,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia limosa con pomici e frammenti litici da millimetrici a decimetrici;
- da 2,50 a 8,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone;
- da 8,50 a 9,00 m. circa da p.c.: paleosuolo costituito da sabbia di colore nera;

- da 9,00 a 14,60 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone;
- da 14,60 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche.

Per il sondaggio PS21:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia con ghiaia;
- da 0,50 a 5,50 m. circa da p.c.: sabbia fine debolmente limosa di colore marrone, poco addensata;
- da 5,50 a 7,00 m. circa da p.c.: sabbia grigia con presenza di pomici eterometriche, poco addensata;
- da 7,00 a 9,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone, poco addensata;
- da 9,00 a 10,00 m. circa da p.c.: paleosuolo costituito da sabbia fine nera, poco addensata;
- da 10,00 a 11,50 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa grigia con presenza di pomici eterometriche, poco addensata;
- da 11,50 a 13,00 m. circa da p.c.: sabbia fine grigia con presenza di pomici eterometriche, addensata;
- da 13,00 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa grigia con presenza di pomici centimetriche, poco addensata.

Per il sondaggio PP1N:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale ghiaioso e pezzi di ceramica;
- da 0,50 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;
- da 5,00 a 8,00 m. circa da p.c.: sabbia fine debolmente limosa di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche;
- da 8,00 a 10,00 m. circa da p.c.: paleosuolo costituito da sabbia fine di colore nero con presenza di pomici millimetriche;
- da 10,00 a 11,20 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore nero con presenza di pomici millimetriche;
- da 11,20 a 13,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche;
- da 13,50 a 16,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore nero con presenza di pomici millimetriche;
- da 16,00 a 25,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche;
- da 25,00 a 27,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore grigio con presenza di pomici millimetriche;
- da 27,00 a 50,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore grigio con presenza di pomici millimetriche.

Per il sondaggio PP2N:

- da 0,00 a 0,10 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da asfalto e sabbia;
- da 0,10 a 9,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici di diametro millimetrico, poco addensata;
- da 9,00 a 10,00 m. circa da p.c.: paleosuolo costituito da sabbia di colore nero, poco addensata;
- da 10,00 a 13,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, poco addensata;
- da 13,00 a 17,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore grigio, poco addensata, con presenza di pomici eterometriche;
- da 17,00 a 22,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici eterometriche, frammenti litici di dimensioni 2-3 cm, scorie e lapilli;
- da 22,00 a 36,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore grigio con presenza di pomici eterometriche, frammenti litici di dimensioni 2-3 cm, scorie e lapilli;
- da 36,00 a 50,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore nero con presenza di frammenti litici di dimensioni 2-3 cm, scorie e lapilli.

Per il sondaggio PP3N:

- da 0,00 a 0,20 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia fine moderatamente addensata e resti vegetali;
- da 0,20 a 2,50 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone moderatamente addensata;
- da 2,50 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone chiaro moderatamente addensata;
- da 15,00 a 50,00 m. circa da p.c.: sabbia fine limosa di colore grigio, ben addensata.

Per il sondaggio PS1N:

- da 0,00 a 2,00 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito sabbia fine con frammenti di laterizi;
- da 2,00 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia sciolta di colore marrone;
- da 5,00 a 7,50 m. circa da p.c.: sabbia sciolta di colore grigio;
- da 7,50 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone con presenza di pomici di dimensioni millimetriche.

Per il sondaggio PS2:

- da 0,00 a 2,00 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia fine di colore marrone con frammenti di calcestruzzo e laterizi;
- da 2,00 a 10,00 m. circa da p.c.: sabbia fine debolmente limosa di colore marrone, mediamente addensata;
- da 10,00 a 12,00 m. circa da p.c.: sabbia fine ben addensata di colore marrone;

- da 12,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia media ben addensata di colore grigio scuro.

Per il sondaggio PS5N:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: terreno di riporto, costituito da sabbia fine sciolta di colore marrone, con frammenti di laterizi;
- da 0,50 a 9,50 m. circa da p.c.: sabbia fine moderatamente addensata di colore marrone;
- da 9,50 a 11,50 m. circa da p.c.: sabbia fine sciolta di colore grigio con pomici millimetriche;
- da 11,50 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa moderatamente addensata di colore nero.

Per il sondaggio PS6:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia e ghiaia vulcanica biancastra con presenza di frammenti di mattonelle;
- da 0,50 a 4,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone poco addensata;
- da 4,00 a 8,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore giallastro con presenza di pomici millimetriche, addensata;
- da 8,00 a 12,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore giallastro con presenza di pomici millimetriche, addensata.

Per il sondaggio PS24:

- da 0,00 a 1,50 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da sabbia limosa;
- da 1,50 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici millimetriche;
- da 5,00 a 8,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche;
- da 8,00 a 10,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche;
- da 10,00 a 14,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore grigio con presenza di pomici millimetriche.

Per il sondaggio PS7N:

- da 0,00 a 0,30 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia con presenza di ciottoli centimetrici di asfalto;
- da 0,30 a 4,50 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, poco addensata;
- da 4,50 a 8,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore giallognolo con presenza di pomici millimetriche;
- da 8,50 a 10,00 m. circa da p.c.: Paleosuolo sabbioso di colore nero;
- da 10,00 a 14,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche, addensata.

Per il sondaggio PS9N:

- da 0,00 a 0,20 m. circa da p.c.: massetto cementizio;
- da 0,20 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa con ghiaia, moderatamente addensata, di colore marrone;
- da 5,00 a 9,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa, moderatamente addensata, di colore marrone chiaro;
- da 9,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia fine, moderatamente addensata, di colore marrone chiaro;
- da 15,00 a 23,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone, poco addensata, con presenza di pomici millimetriche;
- da 23,00 a 26,00 m. circa da p.c.: sabbia debolmente limosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche;
- da 26,00 a 30,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore marrone con presenza di pomici millimetriche.

Per il sondaggio PS22:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da materiale ghiaioso;
- da 0,50 a 3,00 m. circa da p.c.: sabbia sciolta di colore marrone costituita da pomici millimetriche;
- da 3,00 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone con pomici millimetriche;
- da 5,00 a 7,50 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone costituita da pomici millimetriche;
- da 7,50 a 9,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa poco addensata di colore giallognolo con presenza di pomici millimetriche;
- da 9,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone con presenza di pomici millimetriche.

Per il sondaggio PS23N:

- da 0,00 a 0,30 m. circa da p.c.: massetto cementizio;
- da 0,30 a 2,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore beige;
- da 2,50 a 6,50 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone;
- da 6,50 a 8,80 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore giallo;
- da 8,80 a 9,50 m. circa da p.c.: paleosuolo sabbioso-limoso di colore rossastro;
- da 9,50 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore marrone chiaro con pomici eterometriche;
- da 15,00 a 18,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa con ciottoli eterometrici, di colore marrone chiaro;
- da 18,00 a 20,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore giallastro;
- da 20,00 a 32,00 m. circa da p.c.: sabbia media di colore marrone;
- da 32,00 a 42,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa marrone ricca di pomici da millimetriche a centimetriche, poco addensata;

- da 42,00 a 43,00 m. circa da p.c.: roccia vulcanica.

Per il sondaggio PS27:

- da 0,00 a 1,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia grossolana marrone chiaro con pomici e frammenti di laterizi;
- da 1,50 a 2,80 m. circa da p.c.: sabbia limosa marrone con clasti vulcanici, da centimetrici e decimetrici;
- da 2,80 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa giallastra con clasti vulcanici, da centimetrici e decimetrici;
- da 5,00 a 10,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone, poco addensata, con presenza di pomici eterometriche;
- da 10,00 a 11,50 m. circa da p.c.: sabbia marrone, poco addensata, con presenza di pomici eterometriche;
- da 11,50 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone con presenza di pomici eterometriche;
- da 15,00 a 16,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di color grigio con presenza di pomici eterometriche di dimensioni centimetriche, poco addensata;
- da 16,00 a 17,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone;
- da 17,00 a 19,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore marrone, poco addensata, con presenza di pomici eterometriche;
- da 19,00 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone.

Per il sondaggio PS28N:

- da 0,00 a 1,60 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia fine con frammenti di laterizi;
- da 1,60 a 8,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone, mediamente addensata;
- da 8,00 a 10,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore marrone, poco addensata, con presenza di pomici eterometriche;
- da 10,00 a 11,00 m. circa da p.c.: limo sabbioso di colore grigio chiaro, poco consistente;
- da 11,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore grigio, poco addensata;
- da 15,00 a 21,00 m. circa da p.c.: sabbia ghiaiosa di colore marrone, poco addensata, con presenza di pomici eterometriche.

Per il sondaggio PP4N:

- da 0,00 a 3,20 m. circa da p.c.: materiale di riporto, costituito da sabbia sciolta di colore marrone, con frammenti di cemento, laterizi, tufo giallo e blocchetti lavici;
- da 3,20 a 5,00 m. circa da p.c.: sabbia fine, mediamente addensata, di colore beige;

- da 5,00 a 11,00 m. circa da p.c.: sabbia fine, debolmente limosa e ben addensata, di colore beige;
- da 11,00 a 13,00 m. circa da p.c.: sabbia fine, ben addensata, di colore grigio, con litici calcarei millimetrici;
- da 13,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia fine debolmente limosa, ben addensata, di colore grigio, con pomici bianche millimetriche;
- da 15,00 a 25,00 m. circa da p.c.: sabbia fine, debolmente limosa, ben addensata, di colore grigio chiaro;
- da 25,00 a 50,00 m. circa da p.c.: sabbia fine limosa, ben addensata, di colore grigio verde.

Per il sondaggio PP9:

- da 0,00 a 0,50 m. circa da p.c.: terreno di riporto costituito da sabbia limosa con frammenti di laterizi;
- da 0,50 a 9,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, poco addensata;
- da 9,00 a 10,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore grigio con presenza di pomici eterometriche;
- da 10,00 a 13,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici millimetriche, poco addensata;
- da 13,00 a 17,00 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore grigio con presenza di pomici centimetriche, poco addensata;
- da 17,00 a 22,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone con presenza di pomici eterometriche, di frammenti litici di dimensioni 2-3 cm, scorie e lapilli;
- da 22,00 a 36,00 m. circa da p.c.: Sabbia ghiaiosa di colore grigio con presenza di pomici eterometriche, di frammenti litici di dimensioni 2-3 cm, scorie e lapilli;
- da 36,00 a 41,50 m. circa da p.c.: sabbia fine di colore grigio con presenza di pomici millimetriche, scorie e lapilli;
- da 41,50 a 45,00 m. circa da p.c.: sabbia torbosa di colore verde con presenza di frammenti legnosi e di gusci di bivalve.

Per il sondaggio PE2N:

- da 0,00 a 1,50 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da sabbia e ghiaia con frammenti di laterizi;
- da 1,50 a 13,00 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone, poco addensata, con presenza di pomici millimetriche;

- da 13,00 a 15,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore grigio con presenza di pomici millimetriche, addensata;
- da 15,00 a 22,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore grigio scuro, ricca di pomici da millimetriche a centimetriche, poco addensata.

Per il sondaggio PE3N:

- da 0,00 a 2,00 m. circa da p.c.: materiale di riporto costituito da laterizi fino a 0,50 m di profondità e da sabbia con frammenti di laterizi da 0,50 e 1,50 m di profondità;
- da 2,00 a 7,50 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone, poco addensata, con presenza di pomici millimetriche;
- da 7,50 a 9,00 m. circa da p.c.: sabbia limosa di colore marrone, addensata;
- da 9,00 a 24,70 m. circa da p.c.: sabbia di colore marrone, addensata, con presenza di pomici da millimetriche a centimetriche;
- da 24,70 a 27,00 m. circa da p.c.: sabbia grossolana di colore marrone, poco addensata, ricca di pomici millimetriche.

Dall'analisi delle suindicate stratigrafie è possibile individuare tre orizzonti principali, classificando i terreni nel seguente modo:

- orizzonte A, costituito da materiale di riporto composto da sabbia ghiaiosa e limosa, frammenti vulcanici e residui di demolizioni, con spessori variabili da 0,00/0,50 m. a 0,00/3,20 m.;
- orizzonte B, classificabile per la maggiore come sabbia fine limosa, con spessori variabili fino a 21,00 m. dal p.c.;
- orizzonte C, classificabile per la maggiore come sabbia fine e ghiaiosa con spessori variabili fino a 50,00 m. dal p.c.

10.4 Modello concettuale sito specifico e risultati

La sorgente di contaminazione è la falda idrica sottostante l'intero sito delle RSA dell'ex SIN Bagnoli-Coroglio. I percorsi di esposizione attivati sono la volatilizzazione indoor e outdoor. I bersagli individuati sono i residenti.

I parametri degli spazi confinati fanno riferimento ad un edificio residenziale con piano terra abitato di altezza pari a 3 m. Per la soggiacenza, il valore selezionato in via cautelativa, corrisponde al minimo.

Le concentrazioni rappresentative della sorgente corrispondenti alle massime di tutto il sito sono indicate nella tabella n. 47.

Contaminante	CRS (mg/l)
Benzene	9,00E-03
Toluene	6,13E-02
Alifatici C9-C18	1,20E+00
1,1-Dicloroetilene	1,60E-04
PCB Tot.	1,52E-04
Idrocarburi totali	1,20E+00

Le ipotesi relative alla scelta dei contaminanti sono le seguenti:

- per gli idrocarburi, non essendo presente una speciazione degli stessi, sono state implementate tutte le frazioni MADEP maggiormente volatili
- sono stati selezionati esclusivamente i contaminanti volatili e semivolatili;
- la concentrazione dei PCB è stata associata ai PCB Tot considerati semivolatili (Banca dati ISS-INAIL, Marzo 2015).

Risultati

- Falda

L'elaborazione dell'analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell'esposizione a sostanze volatili presenti nelle acque sotterranee ha evidenziato un Indice di pericolo non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18, Alifatici C5-C8 e Aromatici C9-C10 per inalazione indoor. Tuttavia è agli idrocarburi alifatici C9-C18 che risulta associato il rischio maggiore, pertanto sarà la frazione MADEP di riferimento.

Nella figura n. 82 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile per l'indice di pericolo.

Fig. n. 82 – Valori del Rischio falda

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)
Benzene	9,00E-03	---		9,00E-03	---	5,77E-07	1,37E-02
Toluene	6,13E-02	---		6,13E-02	---	---	5,73E-04
Alifatici C9-C18	1,20E+00	---		1,20E+00	---	---	5,97E+01
1,1-Dicloroetilene	1,60E-04	---		1,60E-04	---	---	1,55E-04
PCB Tot.	1,52E-04	---		1,52E-04	---	1,91E-08	---
Alifatici C5-C8	1,20E+00	---		1,20E+00	---	---	5,34E+01
Aromatici C9-C10	1,20E+00	---		1,20E+00	---	---	1,23E+00
Aromatici C11-C22	1,20E+00	---		1,20E+00	---	---	1,36E-01

L'elaborazione dell'analisi di rischio in modalità inversa ha portato all'individuazione delle CSR indicate nella figura n. 83, che rappresentano le concentrazioni per cui non si rileva un rischio di tipo sanitario.

Fig. n. 83 – Valori Concentrazioni Soglia di Rischio falda

Contaminanti	CSR individuale [mg/L]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR falda [mg/L]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC D.Lgs 152/06 [mg/L]
Benzene	1,56E-02		1,56E-02	1,00E-06	2,37E-02	NA	1,00E-03
Toluene	1,07E+02		1,07E+02	---	1,00E+00	NA	1,50E-02
Alifatici C9-C18	2,01E-02		2,01E-02	---	1,00E+00	NA	3,50E-01
1,1-Dicloroetilene	1,03E+00		1,03E+00	---	1,00E+00	NA	5,00E-05
PCB Tot.	7,96E-03		7,96E-03	1,00E-06	---	NA	1,00E-05
Alifatici C5-C8	2,25E-02		2,25E-02	---	1,00E+00	NA	3,50E-01
Aromatici C9-C10	9,77E-01		9,77E-01	---	1,00E+00	NA	3,50E-01
Aromatici C11-C22	8,81E+00		8,81E+00	---	1,00E+00	NA	3,50E-01
			On-site	R tot	HI tot		
			Outdoor	5,86E-08	1,11E-01		
			Indoor	2,00E-06	6,02E+00		

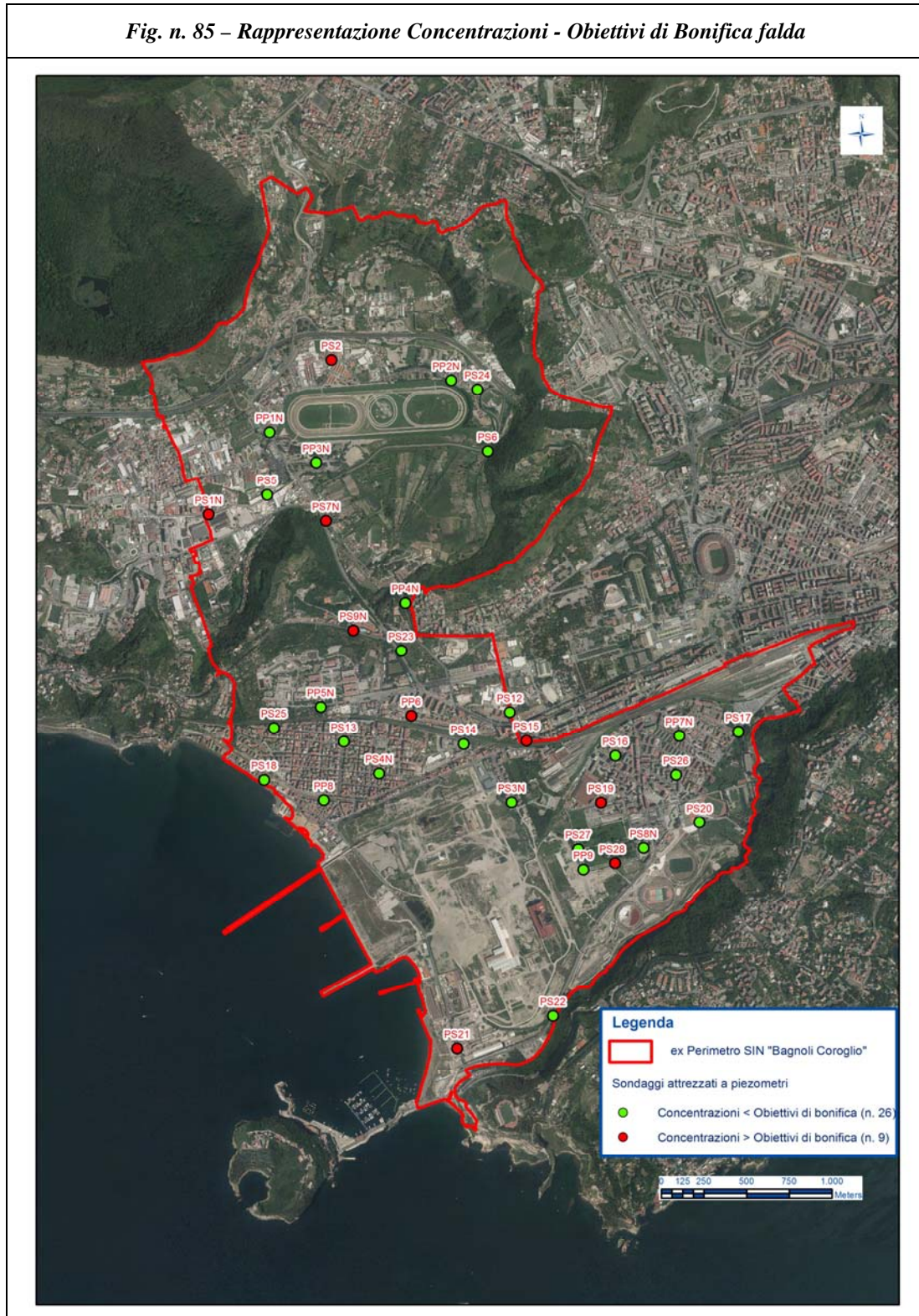
Le CSR calcolate non rispettano il rischio cumulato, pertanto è stata implementata un’analisi di rischio in cui sono stati eliminati gli idrocarburi C9-C18 per i quali la CSR risulta inferiore alla CSC e in cui sono stati apportati fattori di correzione per abbassare le restanti CSR. Per gli idrocarburi pesanti gli obiettivi di bonifica corrispondono alle CSC. In figura n. 84 si riportano i valori del rischio cumulato.

Fig. n. 84 – Valore del Rischio Cumulato falda

Contaminanti	CSR individuale [mg/L]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR falda [mg/L]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC D.Lgs 152/06 [mg/L]
Benzene	1,56E-02		1,56E-02	1,00E-06	2,37E-02	NA	1,00E-03
Toluene	1,07E+02	1,00E+01	1,07E+01	---	1,00E-01	NA	1,50E-02
1,1-Dicloroetilene	1,03E+00	1,00E+01	1,03E-01	---	1,00E-01	NA	5,00E-05
PCB Tot.	7,96E-03		7,96E-03	1,00E-06	---	NA	1,00E-05
			On-site	R tot	HI tot		
			Outdoor	5,86E-08	3,78E-03		
			Indoor	2,00E-06	2,24E-01		

In figura n. 85 si rappresentano i sondaggi in cui le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica.

Fig. n. 85 – Rappresentazione Concentrazioni - Obiettivi di Bonifica falda



10.5 Conclusioni

L'applicazione dell'analisi di rischio alla sorgente falda investigata in corrispondenza delle aree residenziali, sociali ed agricole del SIN Bagnoli – Coroglio ha mostrato un rischio non accettabile per Idrocarburi totali, pertanto, secondo quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 e s.m.i, devono essere attuati idonei interventi di bonifica. Tuttavia è necessario effettuare alcune considerazioni in merito ai risultati ottenuti ai fini della scelta delle soluzioni più efficaci per gli interventi da attuare:

- dalla fase di caratterizzazione ambientale del sito è intercorso un considerevole lasso di tempo (circa 7 anni);
- 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 corrisponde agli alifatici C9-C18, che comprende anche idrocarburi $C < 12$ che rappresentano l'effettiva frazione volatile;
- 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;
- la valutazione effettuata ha fatto riferimento ad abitazioni a piano terra che rappresentano situazioni rare e molto cautelative.

Ai fini della tutela della salute umana dei di coloro che risiedono nelle RSA dell'ex SIN Bagnoli-Coroglio, si ritiene che debbano essere intraprese le seguenti azioni:

- misure dirette dei vapori provenienti dalla falda e utilizzo di dati di campo (misure di soil gas, campionamenti dell'aria indoor e outdoor) per la verifica dei risultati ottenuti con l'applicazione modellistica per la valutazione dell'efficacia – efficienza delle eventuali misure di prevenzione e degli eventuali interventi di bonifica da attuare;
- verifica dei valori degli inquinanti attraverso i dati per il monitoraggio della qualità dell'aria;
- individuazione delle effettive sorgenti primarie della contaminazione, se ancora presenti;
- verifica attraverso analisi di speciazione delle frazioni idrocarburiche ai fini dell'attivazione del percorso di volatilizzazione e della scelta delle proprietà chimico fisiche e tossicologiche maggiormente appropriate.

11. 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).
- Piano di Caratterizzazione del sito di interesse nazionale Bagnoli-Coroglio, Marzo 2003, redatto da Bagnolifutura S.p.A. ed approvato in sede di Conferenza dei Servizi decisoria del 20 giugno 2003;
- Integrazione al Piano della Caratterizzazione del sito di interesse nazionale Bagnoli-Coroglio redatto da Bagnolifutura S.p.A. nel mese di Maggio 2003;
- Rapporto Tecnico Conclusivo delle Indagini di Caratterizzazione Ambientale, Progetto SIN1 Servizi di caratterizzazione di aree potenzialmente inquinate in siti di interesse nazionale della Regione Campania: Bagnoli-Coroglio, Napoli Orientale, Litorale Domizio-Flegreo e Agro Aversano - Componente 1 - Aree pubbliche del SIN “Bagnoli-Coroglio” (Napoli), Settembre 2008, condotte dal Raggruppamento Temporaneo di Imprese (R.T.I.) costituito da URS Italia, SGS Italia e Geodynamic, e approvato dal MATTM in sede di Conferenza di Servizi decisoria del 26/02/09.