



COMUNE di CHIETI

RISULTATI DELLA CARATTERIZZAZIONE E ANALISI DI RISCHIO

Riferimenti normativi: Dlgs 152/06 e s.m.i.

COMMITTENTE: SIXTY LOG Srl



Dott. Geol. Massimo RANIERI

File:		
Analisi di rischio – SIXTY LOG Srl (CH)		
data 2020	ranierigeo@gmail.com	Approvato MR



GEOLOGIA e PROGETTAZIONE AMBIENTALE

Dott. geol. MASSIMO RANIERI
via Pollidoro di Mastrorenzo, 1/b - 66034 Lanciano (ch)
tel/fax 0872.45413 - 3385846651 email: ranieri@negrusud.it
P.IVA 01738720695



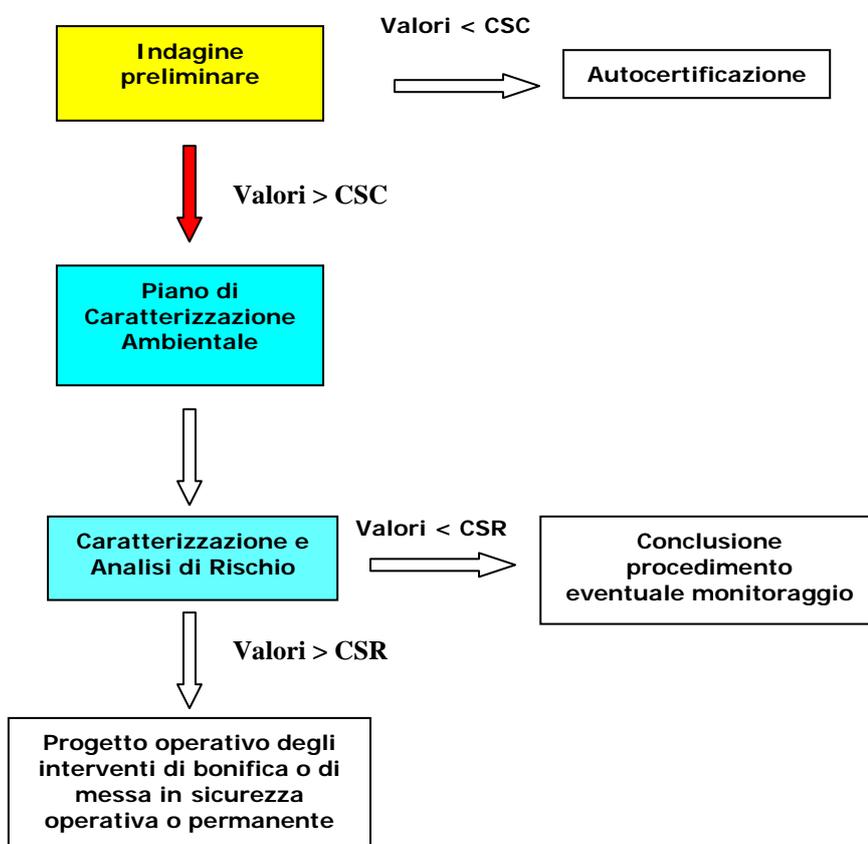
1. PREMESSA	2
2. MODELLO CONCETTUALE DEL SITO.....	2
2.1 LOCALIZZAZIONE DELL'AREA	2
2.2 DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE NEL SITO	4
2.3 STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO.....	5
2.4 IDROGEOLOGIA	7
3. MISURE SOIL GAS E QUALITA' DELLE ACQUE SOTTERRANEE E DEI TERRENI.....	9
3.1 SOIL GAS	9
3.2 ACQUE SOTTERRANEE	10
3.3 TERRENI	10
4. ESTENSIONE DELLA CONTAMINAZIONE.....	13
5. SORGENTI DI CONTAMINAZIONE INDIVIDUATE.....	17
5.1 SORGENTI PRIMARIE	17
5.3 PERCORSI DI MIGRAZIONE/ESPOSIZIONE	18
5.4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E METODOLOGIA ADOTTATA	18
5.5 ASSUNZIONI GENERALI	19
5.6 CRITERI DI ACCETTABILITÀ DEL RISCHIO E RIFERIMENTI NORMATIVI.....	19
6. ANALISI DI RISCHIO SANITARIO AMBIENTALE.....	20
6.1 ARTICOLAZIONE IN FASI	20
6.2 MODELLI E PARAMETRI TOSSICOLOGICI	21
7. DEFINIZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE	23
7.1 DETERMINAZIONE DELLE CONCENTRAZIONI AL PUNTO DI ESPOSIZIONE	23
7.2 TASSO DI ESPOSIZIONE.....	24
8. CALCOLO DEL RISCHIO.....	24
8.1 RISCHIO CANCEROGENO	24
8.2 RISCHIO TOSSICO.....	25
9. APPLICAZIONE DELLA PROCEDURA AL CASO IN ESAME	25
9.1 DATI SITO SPECIFICI PER L'ANALISI DI RISCHIO	26
10. RISULTATI DELL'ANALISI DI RISCHIO – LIVELLO 2	28
11. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	45

1. PREMESSA

Il presente documento, predisposto per conto **della Ditta Sixty Log S.r.l.** costituisce il *Rapporto sui risultati della caratterizzazione ed elaborazione dell'Analisi di Rischio sito specifica*, del sito "ex Farad Neca" ubicato nel territorio comunale di Chieti, in Via Mammarella 36.

Il documento fa seguito al Piano di caratterizzazione integrativo redatto nel Dicembre 2017 ed approvato in CdS del 09.01.2018 e autorizzato con successiva Determina n.109 del 07.02.2018 del Comune di Chieti.

Tale relazione, quindi, si pone l'obiettivo di rappresentare la situazione di inquinamento delle matrici ambientali, alla luce degli ulteriori accertamenti/verifiche effettuate nell'esecuzione del piano d'indagine contenuto nel PdCa integrativo e di verificare se è necessario intervenire con la bonifica delle matrici ambientali della suddetta area.



2. MODELLO CONCETTUALE DEL SITO

2.1 Localizzazione dell'area

Lo stabilimento è ubicato nella zona Industriale di Chieti Scalo, sulla destra idrografica del fiume Pescara (distante circa 500 metri), tra via Piaggio, il fiume e l'arteria stradale denominata asse attrezzato.

L'area ricade in "zona di completamento destinata all'industria e ai suoi servizi" del PRG vigente del Comune di Chieti e soggetta alle prescrizioni del P.R.T. del Consorzio Sviluppo Industriale Chieti-Pescara, ed è catastalmente così suddivisa: foglio 27, part.IIe 86-2-32-49-261-72-43-144-146-264-

278-325-588-590-592-635-640-3501-3502-4291-4292-4299-4300. L'estensione complessiva del sito di proprietà Sixty Log S.r.l. è pari a 143.979,00 mq.



Intorno allo stabilimento sono presenti per lo più insediamenti industriali anche se non mancano alcune abitazioni civili, sia a nord che a ovest (località Molino Canosa) dello stabilimento.

In prossimità del fiume Pescara sono inoltre presenti aree ad uso agricolo, con coltivazioni di vario tipo. All'interno del complesso industriale Sixty Log S.r.l., in particolare nel settore nord-ovest del sito (vedi immagine in alto) è presente un'area (attualmente non più utilizzata) di discarica (*di tipo 2B, utilizzata per lo smaltimento dei rifiuti speciali, consistenti in residui di fonderia derivanti dal ciclo di produzione del vecchio stabilimento Farad Neca*) autorizzata a suo tempo dalla Regione con D.G.R. n.7898 del 1988 alla società FAR.

L'attività dello stabilimento, dopo numerosi passaggi societari e cambiamenti di ragione sociale, è cessata agli inizi degli anni duemila ed il sito industriale è stato acquisito dalla Ditta Sixty Log S.r.l. per destinare l'area alla realizzazione di un grande complesso industriale per lo stoccaggio e commercializzazione di capi di abbigliamento. Prima del trasferimento dell'area, la Curatela fallimentare ha provveduto allo smaltimento di tutti i rifiuti speciali, in particolare gli "ex tossico-nocivi", non potenzialmente riutilizzabili nelle attività di sistemazione morfologica di tutta l'area, compreso i fanghi e gli altri materiali depositati nella discarica.

L'invaso della discarica è stato utilizzato per accogliere terre e sabbie esauste di fonderia in attesa di essere consegnate a terzi per il riutilizzo come "materia prima secondaria" per rilevati e sottofondi stradali.

L'area della vecchia discarica, nel progetto della ditta SIXTY, era interessata dalla realizzazione di un anello viario per la mobilità dei mezzi all'interno del complesso stesso, pertanto, è stata chiesta l'autorizzazione alla sua chiusura definitiva (Aprile 2003). Chiusura che è stata attuata contestualmente all'autorizzazione stessa e alla realizzazione dell'intera struttura produttiva SIXTY.

2.2 Descrizione delle strutture nel sito

L'immobile ex Farad Neca, oggetto dei lavori è costituito da un fabbricato principale e da una serie di strutture di servizio, il tutto costruito in epoche diverse e sostanzialmente articolati nei seguenti corpi di fabbrica principali:

Corpo principale

- ✓ Area stoccaggio materie prime
- ✓ Silos sabbie
- ✓ Silos Bentonite
- ✓ Area produttiva
- ✓ Zona fusione "Cubilotti"
- ✓ Zona colata (animisteria)
- ✓ Lavorazioni meccaniche
- ✓ Reparto verniciatura
- ✓ Magazzini prodotti finiti
- ✓ Reparti di manutenzione e magazzini ricambi

Corpi circostanti

- ✓ Edifici civili (spogliatoi e mense)
- ✓ Ex centrale termica e deposito prodotti chimici
- ✓ Deposito vernici
- ✓ Silos stoccaggio vernici
- ✓ Impianto di depurazione acqua "abbattimento fumi"
- ✓ Deposito olii
- ✓ Deposito bombole di ossigeno
- ✓ Servizi vari, lavaggio ecc

Area scoperta di pertinenza

- ✓ Discarica autorizzata
- ✓ Tettoie parcheggio macchine
- ✓ Stoccaggio temporaneo rifiuti vari
- ✓ Impianto di depurazione acque sanitarie
- ✓ Deposito residuali di lavorazione

2.3 Stratigrafia di dettaglio

Il modello litostratigrafico del sito è stato ricostruito utilizzando ed interpretando sia i dati stratigrafici desunti dagli ultimi n. 8 sondaggi realizzati nella fase attuativa del piano di caratterizzazione integrativo (sondaggi realizzati tra il 13 ed il 20 novembre 2019) e sia quelli realizzati precedentemente.

Le terebrazioni eseguite, hanno evidenziato la seguente successione stratigrafica:

AREA DELLO STABILIMENTO

- **Asfalto-Sottofondo piazzale** – Nella sola area dello stabilimento caratterizzata dai piazzali asfaltati di manovra e transito mezzi, si rileva il manto stradale al di sotto del quale è presente il sottofondo costituito da ghiaia calcarea e sabbia di spessore variabile dai 0,5 agli 1,5 metri.
- **Riporto** – Materiale di riporto costituito da argilla grigia mista a materiale nero di consistenza sabbiosa costituito da scorie di fusione. Spessore variabile dai 0,5 a 1,0 metri.
- **Limi sabbiosi** – Limi sabbiosi e limi argillosi avana e marroni con variegature limose grigio chiaro e rossicce ossidate. Livelli millimetrici di sabbie fini grigio chiaro. Noduli di materiale organico nero carbonioso. Spessore variabile dai 4 ai 6,3 metri.
- **Sabbie** – Sabbie fini marrone e avana con livelli e lenti di sabbie rossicce ossidate. Livelli limosi grigio chiari. Noduli di materiale carbonioso nero. Spessore variabile dai 2,6 ai 4,0 metri.
- **Argilla** – Argilla limosa grigia con livelli millimetrici di sabbie grigie. Spessore variabile dai 6,0 agli 8,0 metri.
- **Ghiaie** – Ghiaie e ciottoli calcarei in matrice limo sabbiosa beige/grigia. Clasti da centimetrici a decimetrici, subarrotondati e/o spigolosi. Si rinviene ghiaino e livelli più sabbiosi a profondità di 17 – 18 metri dall'attuale p.c. Spessore rilevato fino a fondo foro pari a 3,0 metri.

AREA ESTERNA ALLO STABILIMENTO

- **Riporto** – Nella sola area SW del sito, esternamente al sito produttivo asfaltato, si rileva la presenza di materiali di riporto costituiti da ghiaie calcaree e sabbie calcaree bincastre e avana frammiste a limi argillosi marroni. Spessori variabili da 0,2 a 4,0 metri
- **Riporto/rifiuti** – Materiale di colore nero costituito da granulometrie sabbiose, ascrivibile ai residui di fusione/scorie di fusione. In SXP4 alternato a livelli di argille grigie e limi marroni frammisti a ghiaie calcaree. Spessore variabile dai 5,0 ai 7,4 metri.
- **Ghiaie** – Ghiaie eterometriche calcaree in più o meno abbondante matrice limo argillosa di colore variabile dal marrone chiaro/beige al grigio chiaro. Spessore rilevato fino a fondo foro pari a 8,0 metri.

SONDAGGIO SXP5

2.4 Idrogeologia

Dalla rete di monitoraggio costituita dai piezometri installati nei fori di sondaggio, è stato possibile ricostruire la morfologia della falda tramite le curve isofreatiche (curve che congiungono i punti aventi uguale quota piezometrica), mediante l'interpolazione delle quote dei livelli di falda dei singoli piezometri.

Per ogni punto d'acqua sono state misurate la quota s.l.m. della testa del piezometro (rilievo plano-altimetrico), la profondità della falda dal piano campagna (soggiacenza) e per differenza si è ottenuta la quota piezometrica s.l.m.

Nella tabella successiva vengono riportati per ogni piezometro gli elementi di riferimento sopra indicati rilevati.

rilievo piezometrico SIXTY LOG SRL 16.12.2019			
FALDA PROFONDA			
piezometro	soggiacenza [m]	Q p.c. m.s.l.m.	Q falda m.s.l.m.
S1	10,5	36,32	25,82
S2	12,03	36,11	24,08
SX1	13,12	36,73	23,61
SXP3	10,55	34,53	23,98
SS2	12,92	36,48	23,56
SS4	11,65	37,79	26,14
SXP5	12,17	37,5	25,33
SXP4	11,82	37,23	25,41

rilievo piezometrico SIXTY LOG SRL 16.12.2019			
FALDA SUPERFICIALE			
piezometro	soggiacenza [m]	Q p.c. m.s.l.m.	Q falda m.s.l.m.
SX4	8,05	37,13	29,08
SX3	6,73	38,1	31,37
SX2	5,73	37,6	31,87
SS1	SECCO	36,4	
SS3	7,38	37,8	30,42
SX5	SECCO	37,6	
SX6	8,92	36,5	27,58

Dalle misure di soggiacenza effettuate si delinea, per la falda profonda, una direzione di deflusso delle acque sotterranee da ESE verso WNW, mentre per la falda superficiale si individua una direzione di deflusso da E verso W.



Ricostruzione della superficie piezometrica della falda profonda, con indicate le direzioni di deflusso.



Ricostruzione della superficie piezometrica della falda superficiale, con indicate le direzioni di deflusso.

3. MISURE SOIL GAS E QUALITA' DELLE ACQUE SOTTERRANEE E DEI TERRENI

3.1 Soil gas

Nel sito, oltre alle analisi sulle matrici, terreno e acque sotterranee, preventivamente è stata effettuata una campagna di misurazione delle emissioni di soil gas. I campionamenti sono stati effettuati mediante l'utilizzo di Flux Chamber di "accumulo" (statica non stazionaria) posizionato sul piano campagna e collegate a pompe di aspirazione. Il sistema di campionamento adottato è di tipo attivo ed è costituito da una pompa automatica di tipo LIFE XP collegata al tubo-filtro/captatore costituito da un cilindretto o tubicino riempito di materiale adsorbente. Il passaggio dell'aria attraverso il sistema adsorbente è regolato dalla pompa che genera, nel caso in esame, un flusso di campionamento pari a 1 lt/min.

La campagna di monitoraggio dei soil gas è iniziata l' 8 Giugno 2019 ed è proseguita nei giorni 21 e 22 giugno e nei giorni del 13 e 25 luglio. Nei giorni 8 e 22 giugno i campionamenti sono stati eseguiti in contraddittorio con i tecnici dell'ARTA Abruzzo dipartimento di Chieti-Pescara, i quali hanno eseguito delle misure di flusso sul campo. In totale sono stati eseguiti n. 38 campionamenti di soil gas, rispettivamente n. 34 eseguiti nel settore SW all'esterno dello stabilimento e n. 4 sono stati realizzati nell'area nord ed ovest dello stabilimento.

Il numero di misurazioni effettuate nel settore SW esterno allo stabilimento, sono state determinate applicando la formula riportata nella "Guidance for monitoring landfill Gas Surface Emission (LFTGN07 v2, 2010)":

$$N = 6 + 0.15 \sqrt{A}$$

Dove:

N = numero di zone

A = superficie da indagare, in m²

$$N = 6 + 0.15 \sqrt{34650} = 34$$

Le ulteriori n.4 zone all'interno dell'area dello stabilimento sono state individuate tenendo in debita considerazione la qualità delle acque sotterranee evidenziata dai piezometri ivi ubicati.

I tubi-filtro, costituenti il sistema adsorbente, sono stati analizzati dal laboratorio Laser Lab S.r.l. di San Giovanni Teatino (CH).

Le determinazioni sono state eseguite secondo i metodi ufficiali di analisi (vedi tabella sottostante).

PARAMETRO	METODO DI ANALISI
Cis 1,2 dicloroetilene	UNI EN ISO 16017-1:2002
Cloruro di vinile	UNI EN ISO 16017-1:2002
Trans 1,2 dicloroetilene	UNI EN ISO 16017-1:2002
1,1 dicloroetilene (CLORURO DI VINILIDENE)	UNI EN ISO 16017-1:2002
1,2 dicloropropano (DICLORURO DI PROPILENE)	UNI EN ISO 16017-1:2002
Toluene	UNI EN ISO 16017-1:2002
Tricloroetilene (TRIELINA)	UNI EN ISO 16017-1:2002

Per tutti gli analiti ricercati i valori di concentrazione sono risultati inferiori a 0.010 µg/m³ (VEDI CERTIFICATI DELLE ANALISI ALLEGATI).

3.2 Acque sotterranee

I risultati delle analisi sulla matrice acqua sotterranea, sono stati confrontati con le CSC di cui alla Tab. 2 dell'allegato 5 alla parte IV del D.Lgs. 152/06.

I prelievi di questa matrice sono stati effettuati in data 17.12.2019 dai tecnici del laboratorio privato "Laser Lab Srl" in contraddittorio con i tecnici di ARTA Abruzzo.

Di seguito si riportano, sotto forma tabellare, per i vari analiti ricercati, le concentrazioni rilevate nel sito (CRS) confrontate con le rispettive concentrazioni soglia di contaminazione (CSC).

Per i risultati completi si vedano i certificati d'analisi in allegato.

FALDA PROFONDA						
	Fe (µg/l)	Mn (µg /l)	As (µg /l)	CVM (µg /l)	1,1Dicloroetilene (µg /l)	1,2dicloropropano (µg /l)
SS2	266	121	2,49	0,019	0,0025	0,0026
S2	327	134	1,11	1,03	0,171	0,167
SXP5	3,5	137	1,11	0,56	0,0025	0,062
SXP3	1030	372	0,647	2,68	0,0025	0,098
SXP4	9370	1300	17	0,019	0,0025	0,0097
S1	3,5	299	2,18	0,019	0,0025	0,0026
SS4	1140	212	1,43	0,019	0,0025	0,036
CSC	200	50	10	0,5	0,05	0,15

FALDA SUPERFICIALE						
	Fe (µg/l)	Mn (µg /l)	As (µg /l)	CVM (µg /l)	1,1Dicloroetilene (µg /l)	1,2dicloropropano (µg /l)
SX4	3,5	124	0,316	0,0288	0,0025	0,0201
SS3	31,8	318	1,76	0,04	0,0015	0,0020
SX3	3,5	0,59	0,245	0,019	0,0025	0,0044
SX2	3,5	0,882	9,29	0,019	0,0025	0,0026
SS1	-	-	-	-	-	-
SX5	-	-	-	-	-	-
SX6	-	-	-	-	-	-
CSC	200	50	10	0,5	0,05	0,15

3.3 Terreni

Per quanto riguarda le matrici ambientali terreno superficiale e terreno profondo, le analisi di laboratorio hanno evidenziato superamenti delle CSC (Concentrazione Soglia di Contaminazione) per alcuni degli analiti ricercati per i soli terreni profondi.

Le CSC di riferimento sono quelle della colonna (B), ossia per siti a destinazione d'uso commerciale e industriale della Tabella 1 dell'allegato 5 alla Parte Quarta del D. Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 e smi.,

Per il quadro completo dei risultati si rimanda ai certificati d'analisi allegati.

TERRENI SUPERFICIALI (0-1 M)								
	PROFONDITA' (m)	As (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Al (mg/kg)
SX6C1	0,3-0,8	9,9	52	46	20,9	70	88	18800
SS2C1	0,5-1,0	4,5	24,9	18,6	71,0	17,7	75,0	11600
SXP4C1	0,0-1,0	20,8	40,0	31,0	729,0	121,0	578	13000
CSC		50	800	500	1000	600	1500	-

TERRENI PROFONDI (>1 M)								
	PROFONDITA' (m)	As (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Al (mg/kg)
SX6C2	1,9-2,5	12,7	61	54	19	31,4	90	20400
SS1C1	1,0-2,0	64	83	71	11500	77	109	20100
SS2C2	1,0-2,0	7,5	62	51	20,1	23,8	69	21100
SXP4C2	4,0-5,0	9,3	37	32,7	78	32,1	98	9970
SS4C1	1,0-2,0	11,8	60	51	17,8	26,2	77	19100
SS3C1	1,4-2,0	14	74	65	40	35	97	15400
SXP5C2	5,9-6,9	7,5	50	50	19,2	25,9	72	11600
SXP5C1	1,0-2,0	6,4	25,4	16,3	234,0	89,0	225,0	6980
CSC		50	800	500	1000	600	1500	-

In diversi punti dell'area indagata, a diverse profondità dal p.c. attuale, si è rilevata la presenza di materiale antropico di riporto, di colore nero/grigio scuro a granulometria sabbiosa, ascrivibile ai residui di fusione generati dall'attività storica di produzione di apparecchi termoradianti esercitata dalla ditta Farad/Neca nel sito sino ai primi anni '2000. Nello specifico, le scorie di fusione si rinvennero in buona parte dell'area esterna a SW dello stabilimento, nei punti di indagine **SXP4**, **SXP5** e **SX5**. In SXP4 si rinviene dalla profondità di 0,20 metri a 10,00 metri, in SXP5 da 0,90 metri a 5,90 metri ed in SX5 da 2,60 metri a 10,00 fino a fondo foro. In SXP4 le scorie di fusione sono intercalate a livelli e strati di limi marroni ed argille grigie frammiste alle scorie stesse. Detto materiale risulta coperto da ghiaie calcaree di cava miste a terreno vegetale limoso con spessori variabili da 0,90 m a 4,00 m.

Nel settore nord dello stabilimento, al di sotto dei piazzali asfaltati, si rinvennero tracce di scorie di fusione inglobate nei terreni limoso-argillosi grigio scuri. Nello specifico si rilevano strati di limi argillosi con tracce di scorie nei punti SS2 da 0,50 m a 1,00 m ed in SS1 da 1,00 m a 2,00 m.

Sui materiali antropici sono stati effettuati i test di cessione sull'eluato con le modalità del D.M. 05.02.1998 ed il confronto dei risultati con le CSC di cui alla Tab. 2 dell'Allegato 5 alla Parte IV del D. Lgs. 152/2006.

I risultati dei test di cessione hanno evidenziato assenza di superamenti delle CSC per tutti gli analiti ricercati nel punto SS2, mentre nel punto SXP4 si rilevano superamenti per Fluoruri Antimonio, quest'ultimo rilevato anche nel punto SXP5. Di seguito si riportano in tabella solo alcuni degli analiti ricercati e per il set completo di analisi si rimanda ai relativi certificati in allegato.



Delimitazione schematica delle aree all'interno del sito, caratterizzate da rinvenimenti di scorie di fusione in quantità e spessori variabili. Nei punti SS1 ed SS2 solo tracce, in SXP4, SXP5 ed SX5 spessori consistenti.

	TEST DI CESSIONE									Fluoruri (µg/l)	Solfati (mg/l)
	Sb (µg/l)	Cr (µg/l)	As (µg/l)	Hg (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Cu (µg/l)	Se (µg/l)	Zn (µg/l)		
SXP4C1 (0-1m)	17,7	19,5	5,9	0,127	1,37	6,1	4,57	0,7	72,5	1540	6,7
SXP5C1 (1-2m)	15,5	2,03	3,72	0,095	1,45	1,85	2,92	0,7	30,7	1460	10,2
SS2C1 (0-1m)	3,2	1,21	3,2	0,083	1,58	5,7	4,44	0,765	53	780	5,5
CSC	5	50	10	1	20	10	1000	10	3000	1500	250

4. ESTENSIONE DELLA CONTAMINAZIONE

Per le acque sotterranee ascrivibili alla falda superficiale intercettata entro i primi 10,00 metri dall'attuale p.c., è stata considerata come area sorgente, cautelativamente, l'intera estensione del sito che è pari a circa 143.979,00 mq. Per le acque sotterranee della falda profonda intercettata oltre i 10,00 metri di profondità dall'attuale p.c., a seconda della diversa distribuzione dei vari contaminanti rilevati sono state individuate diverse aree sorgente. Per il Ferro ed il Manganese, rilevati con concentrazioni superiori alle relative CSC, in tutti i punti di prelievo, si considera come area sorgente l'intera estensione del sito pari a 143.979,00 mq. Per il Cloruro di Vinile Monomero (CVM), l'estensione dell'area sorgente è pari a circa 71.000,00 mq e corrisponde al settore centro meridionale e centro occidentale del sito, e comprende parte dell'area dello stabilimento e parte dell'area esterna a quest'ultimo. L'Arsenico, individuato con concentrazioni rilevanti in un solo punto di prelievo (SXP4), sottende un'area sorgente che si estende per circa 15.400 mq ed interessa l'intorno del punto di prelievo denominato SXP4. L'1,1-Dicloroetilene e l'1,2-Dicloropropano, sono stati rilevati con valori di concentrazione oltre le CSC nel solo punto di prelievo denominato S2 ubicato nel settore ovest del sito, lungo il perimetro occidentale dello stabilimento. L'area sorgente individuata per i due analiti si estende per circa 21.000 mq e coinvolge il settore circostante il punto di prelievo S2.

Di seguito si riportano le aree sorgenti per i diversi analiti, individuate mediante l'interpolazione dei poligoni di Thiessen – Diagramma di Voronoi.



Poligoni di Thiessen per l'analita Manganese nella falda superficiale. In rosso evidenziata l'area sorgente. Nell'elaborazione dell'AdR è stata considerata, cautelativamente, un'area sorgente di estensione pari all'intero sito. In Arancio direzione del vento ed in blue direzione della falda superficiale.



Poligoni di Thiessen per l'analisi Manganese nella falda profonda. In rosso evidenziata l'area sorgente. Nell'elaborazione dell'AdR è stata considerata, cautelativamente, un'area sorgente di estensione pari all'intero sito. In Arancio direzione del vento ed in blue direzione della falda profonda.



Poligoni di Thiessen per l'analisi Ferro nella falda profonda. In rosso evidenziata l'area sorgente. Nell'elaborazione dell'AdR è stata considerata, cautelativamente, un'area sorgente di estensione pari all'intero sito. In Arancio direzione del vento ed in blue direzione della falda profonda.



Poligoni di Thiessen per l'analisi Cloruro di Vinile Monomero (CVM) nella falda profonda. In rosso evidenziata l'area sorgente. In Arancio direzione del vento ed in blue direzione della falda profonda.



Poligoni di Thiessen per l'analisi Arsenico nella falda profonda. In rosso evidenziata l'area sorgente. In Arancio direzione del vento ed in blue direzione della falda profonda.



Poligoni di Thiessen per l'analita 1,1-Dicloroetilene ed 1,2-Dicloropropano nella falda profonda. In rosso evidenziata l'area sorgente. In Arancio direzione del vento ed in blue direzione della falda profonda.

Per la matrice terreno profondo, è stata riscontrata una elevata concentrazione di Arsenico e Piombo, >CSC, nel solo punto di prelievo denominato SS1. L'area sorgente per entrambi gli analiti è quindi quella che si sviluppa nella zona nord del sito e sottesa dal poligono costruito sul punto SS1. La sua estensione è pari a circa 17.155 mq. Di seguito si riportano le aree sorgenti per i diversi analiti, individuate mediante l'interpolazione dei poligoni di Thiessen – Diagramma di Voronoi.



Poligoni di Thiessen per l'analita Arsenico e Piombo nel terreno profondo. In rosso evidenziata l'area sorgente. In Arancio direzione del vento ed in blue direzione della falda profonda.

5. SORGENTI DI CONTAMINAZIONE INDIVIDUATE

5.1 Sorgenti primarie

I contaminanti principali rilevati nelle acque sotterranee del sito, ascrivibili alla falda profonda, sono rappresentati da alcuni metalli quali, Ferro, Arsenico e Manganese, e da alcuni solventi alifatici clorurati cancerogeni quali il Cloruro di Vinile e l'1,1-Dicloroetilene e dagli alifatici clorurati non cancerogeni come l'1,2-Dicloropropano. I solventi clorurati, in particolare il cloruro di vinile, si rileva maggiormente nei punti di prelievo posti a valle idrogeologico (S2, SXP5 ed SXP3), si ipotizza quindi, per questa tipologia di inquinante, una provenienza dal sito, ovvero dall'attività pregressa che realizzava apparecchi termoradianti (Farad/Neca). Nella falda superficiale si rileva la sola presenza di Manganese.

Per i terreni, quelli cosiddetti profondi (>1 m), si rilevano superamenti per i metalli Arsenico e Piombo, riconducibili con ogni probabilità alle attività svolte nel sito sino ai primi anni duemila (Ex Farad/Neca). Le attività di produzione di apparecchi termoradianti hanno generato scorie di fusione (sabbie e terre di fonderia) che vengono rintracciate nel sito, all'interno della matrice suolo sia profondo che superficiale, in quantità e spessori variabili. A detto materiale è imputabile la presenza di metalli quali Arsenico e Piombo nei terreni. Il test di cessione ha evidenziato, per i terreni, anche la presenza di Antimonio e fluoruri.

5.2 Sorgenti secondarie

Acque di falda

Le acque sotterranee profonde, come ribadito in precedenza, sono risultate contaminate principalmente da metalli quali il Manganese, Ferro e Arsenico, unitamente ad alcuni solventi alifatici clorurati cancerogeni quali il Cloruro di Vinile e l'1,1-Dicloroetilene e dagli alifatici clorurati non cancerogeni come l'1,2-Dicloropropano.

Si evidenzia inoltre per Manganese e Ferro concentrazioni elevate, superiori alle rispettive CSC, in quasi tutti i punti di campionamento delle acque sotterranee profonde. La presenza costante di questi due metalli nelle acque di falda, con molta probabilità, è da imputarsi alle caratteristiche geolitologiche dell'acquifero locale, costituito da sedimenti alluvionali spesso ricchi in materiale organico che favoriscono l'instaurarsi di ambienti anossici estremamente riduttivi (potenziale Redox molto basso). Tali condizioni chimico-fisiche favoriscono la mobilizzazione e messa in sospensione di alte concentrazioni di Manganese e Ferro. Ciò non toglie che gli elevati valori di Manganese nelle acque sotterranee del sito, possano essere causati dall'alterazione delle caratteristiche chimico-fisiche dell'acquifero e quindi del potenziale Redox operato da agenti antropici inquinanti.

Terreni

La matrice terreno profondo presenta valori elevati di concentrazione, oltre le CSC (concentrazioni soglia di contaminazione) per i siti a destinazione industriale, nel settore nord del sito, caratterizzato dal piezometro SS1. In questo unico punto di prelievo si evidenziano superamenti per l'Arsenico ed il Piombo. Per i terreni superficiali non si rilevano superamenti delle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) per i siti a destinazione industriale, in tutti i punti di prelievo.

5.3 Percorsi di migrazione/esposizione

I percorsi di esposizione sono le vie mediante le quali il potenziale recettore (bersaglio lavoratore) entra in contatto con le specie chimiche contaminanti.

Per le acque sotterranee, nell'Analisi di Rischio, tenendo conto della contaminazione riscontrata, sono stati valutati percorsi attivi con recettori on site per *inalazione outdoor e indoor di vapori provenienti dalla falda*. Per i terreni profondi, i possibili percorsi attivi riguardano i recettori on site che possono venire a contatto con i contaminanti presenti nel suolo profondo per inalazione vapori, sia outdoor sia indoor.

Il punto di esposizione in questo caso coincide con i recettori reali o ipotetici presenti all'interno del sito. Dal momento che nel presente studio si intende determinare il rischio nelle condizioni più cautelative possibili, in ciascuno step della procedura si sono adottate ipotesi largamente cautelative e gli scenari di esposizione sono stati descritti quantitativamente assegnando condizioni tali da considerarsi conservativamente rappresentative delle condizioni reali.

Essendo l'intero sito a destinazione d'uso commerciale/industriale, l'Analisi di Rischio sito specifica è stata elaborata assumendo il sito come industriale.

5.4 Riferimenti bibliografici e metodologia adottata

L'Allegato 1 al titolo V del D. Lgs. 152/2006, così come modificato dal Dlgs n. 4 del 16.01.08 prevede che: "data l'importanza della definizione dei livelli di bonifica (CSR) le procedure per il calcolo dovranno essere condotte mediante l'utilizzo di metodologie quali ad esempio RBCA dell'ASTM (E 1739-95, E 2081-00), di comprovata validità sia dal punto di vista delle basi scientifiche che supportano gli algoritmi di calcolo che della riproducibilità dei risultati".

Per quanto riguarda i riferimenti nazionali, oltre al testo del D.Lgs. 152/06 e s.m.i. laddove tratta della procedura di Analisi di Rischio (Allegato 1 al Titolo V parte quarta), si farà riferimento per quanto applicabile nel contesto normativo suddetto, al Manuale UNICHIM n°196/1 (2002) "Suoli e falde contaminati. Analisi di Rischio sito specifica. Criteri e parametri." ed al documento "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati – Gruppo di Lavoro ARPA/APPA, ISS, ISPESL, ICRAM istituito e coordinato dall'ISPRA".

La procedura utilizzata, in accordo con gli standard RBCA dell'ASTM (E 1739-95, E 2081-00), è strutturata secondo il principio di cautela, o di conservatività, che caratterizza ogni fase del processo di analisi e che guida la scelta dei dati di input, sia quelli sito-specifici, sia quelli di esposizione e di tossicità.

Essa, quindi, garantisce ampiamente che i dati di concentrazione accettabile, derivati da un predefinito livello di rischio accettabile, siano effettivamente protettivi per la salute dei potenziali bersagli della contaminazione.

L'Analisi di Rischio svolta per il sito in oggetto è da considerarsi in questa fase una analisi di secondo livello, eseguita adottando valori sito-specifici, disponibili e derivanti dalla caratterizzazione del sito ed, in alternativa, valori conservativi di default; per la modellazione idrogeologica e di trasporto della contaminazione sono state utilizzate equazioni di tipo analitico.

Per le elaborazioni numeriche è stato utilizzato il software Risk-net versione 3.1 (sviluppato nell'ambito della rete RECONnet "Rete Nazionale sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati" su iniziativa del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Roma "Tor Vergata").

5.5 Assunzioni generali

L'incertezza associata ad un'analisi di rischio è dovuta ad una combinazione delle incertezze legate alla caratterizzazione del sito, alla valutazione della tossicità/cancerogenicità delle sostanze indice e dell'esposizione. La formulazione delle assunzioni è stata effettuata sulla base del giudizio professionale, in accordo con gli standard adottati ed in un'ottica cautelativa, al fine di garantire la conservatività ed il rigore scientifico dei risultati.

La presente Analisi di Rischio si basa sul modello concettuale illustrato nel capitolo seguente, considerando i dati disponibili al momento della redazione del presente documento, ed utilizzando ipotesi molto conservative.

Per ciò che riguarda la valutazione della tossicità/cancerogenicità delle sostanze indice si è fatto riferimento a valori conservativi, riconosciuti a livello italiano e internazionale.

Inoltre in via cautelativa si è assunta l'additività degli effetti tossici e cancerogeni delle singole sostanze.

Non sono stati considerati eventuali effetti sinergici o interazioni antagonistiche delle sostanze indice.

5.6 Criteri di accettabilità del rischio e riferimenti normativi

Il D.Lgs. 152/06, Allegato 1 Titolo V, modificato dal Dlgs 4 del 16.01.08, indica quale "valore di rischio incrementale accettabile nel corso della vita come obiettivo di bonifica nei riguardi delle sostanze cancerogene 1×10^{-6} come valore di rischio incrementale accettabile per la singola sostanza e 1×10^{-5} per la singola sostanza, mentre per le sostanze non cancerogene propone il criterio universalmente accettato del non superamento della dose tollerabile o accettabile (ADI o TDI) definita per la sostanza (<1).

Nell'elaborazione realizzata pertanto sono stati assunti i seguenti valori di rischio accettabile:

Rischio cancerogeno per esposizione ad un singolo agente cancerogeno: 10^{-6} ;

Rischio cancerogeno cumulativo: 10^{-5} ;

Indice di Rischio relativo all'esposizione ad un singolo agente tossico (Hazard Quotient, HQ): 1;

Indice di Rischio cumulativo (Hazard Index, HI): 1.

I criteri di accettabilità del rischio sanitario proposti dal D. Lgs. 152/2006 sono ben supportati da altri importanti riferimenti bibliografici e scientifici.

Infatti l'EPA, l'OMS (1993) e l'azione concertata europea CARACAS considerano come rischio accettabile per l'esposizione a sostanze cancerogene il valore di 1×10^{-5} ; tale valore viene indicato come riferimento anche nel Manuale UNICHIM 196/1 (2002).

Per le sostanze non cancerogene il rischio accettabile è definito dalla stessa equazione che esprime il rischio HI, definito dal rapporto tra dose assunta e dose di riferimento. Il rischio HI è accettabile quando la dose assunta è inferiore alla dose di riferimento, mentre risulta inaccettabile nel caso inverso. Il rischio non cancerogeno o tossicologico è pertanto definito accettabile quando $HI < 1$.

6. ANALISI DI RISCHIO SANITARIO AMBIENTALE

Si definisce “rischio sanitario ambientale” la quantificazione del danno tossicologico prodotto all’uomo o all’ambiente per effetto della presenza di una sorgente inquinante, i cui rilasci possono giungere, attraverso vie di migrazione diverse, ad un soggetto recettore potenzialmente esposto. La valutazione del rischio sanitario ambientale presuppone, pertanto, la definizione quantitativa del sistema relazionale “sorgenti–percorsi–bersagli”.

La metodologia utilizzata per il calcolo del rischio e dell’hazard index è conforme a quanto disciplinato dalla normativa in vigore (Dlgs 152/06 e smi) ed applica i principi e i metodi adottati a livello internazionale ed in particolare dalla procedura RBCA (Risk Based Corrective Actions) standardizzata dall’ASTM nel 1995 e nel 1998. Gli stessi principi e metodi sono anche enunciati nel Manuale Unichim n. 196/1 pubblicato nel 2002.

Nel presente capitolo si descrive la procedura di Analisi di Rischio Sanitario sito-specifica di secondo livello che è stata applicata al caso in esame al fine di valutare l’accettabilità dei rischi connessi alla verificata presenza, all’interno dell’area, di terreni e falda contaminati.

6.1 Articolazione in fasi

L’articolazione “in fasi” rappresenta lo sviluppo della procedura attraverso il percorso logico che va dalle indagini per la valutazione del sito alle scelte di gestione del rischio. Tale percorso può essere suddiviso nelle seguenti fasi:

valutazione del sito;

definizione del modello concettuale;

determinazione delle concentrazioni nel punto di esposizione;

calcolo del rischio;

analisi decisionale.

La fase di valutazione del sito comprende tutte le indagini ambientali necessarie per caratterizzare la sorgente contaminante e le matrici ambientali interessate dall’inquinamento. Sulla base dei risultati ottenuti e della storia del sito analizzato potrà essere definito il modello concettuale, consistente nella individuazione dei soggetti potenzialmente esposti, delle vie di esposizione, delle vie di migrazione e nella scelta dei contaminanti indice.

La determinazione delle concentrazioni nei punti di esposizione (POE) richiede la capacità di simulare i fenomeni di migrazione dei diversi contaminanti indice dalla sorgente al punto di esposizione. Questo risultato, unitamente alla valutazione del tasso di esposizione e delle caratteristiche tossicologiche dei contaminanti indice, consente di calcolare il rischio tossico e cancerogeno.

L’ultima fase comprende l’analisi decisionale connessa alla gestione del rischio e può prevedere:

- ✚ l’analisi delle incertezze,
- ✚ la valutazione dell’accettabilità del rischio,
- ✚ il calcolo delle concentrazioni massime ammissibili nella sorgente contaminante,
- ✚ la scelta degli interventi necessari.

6.2 Modelli e parametri tossicologici

I potenziali effetti nocivi sulla salute della popolazione, sottoposta all'esposizione di sostanze contaminanti in corrispondenza del punto di esposizione, possono essere definiti utilizzando i dati pubblicati sul web dell'U.S.EPA (Integrated Risk Information System, IRIS) e da altri centri di ricerca e documentazione, essenzialmente statunitensi.

Lo studio di analisi di rischio sanitario ambientale prende in considerazione le sostanze tossiche croniche, valutando i rischi che l'inquinamento dell'ambiente con tali sostanze può causare sulla salute degli individui a seguito di un'assimilazione cronica. L'U.S. Environmental Protection Agency propone una classificazione della pericolosità delle sostanze in sei categorie (tabella 2); tuttavia, la classificazione più importante ai fini dell'analisi di rischio è quella che divide le sostanze tossiche in cancerogene e non cancerogene sulla base del diverso modello dose-risposta che seguono, il quale tiene conto dell'esistenza o meno di una dose di soglia, al di sotto della quale non si rilevano effetti nocivi. A seconda del modello tossicologico seguito, due sono i parametri chiave:

- Chronic Reference Dose (RfD) per gli effetti tossici, non cancerogeni;
- Slope Factor (SF) per gli effetti cancerogeni.

Chronic Reference Dose (RfD)

La dose di riferimento RfD rappresenta la dose media giornaliera soglia, al di sotto della quale non si ha alcun effetto negativo sulla salute umana durante l'intera vita.

Per tener conto della sensibilità della popolazione, i valori di RfD sono significativamente più bassi dell'effettivo livello di tolleranza determinato sulla base di studi sull'uomo o sugli animali (NOAEL = No Observed Adverse Effect Level). Il NOAEL viene convertito in RfD sulla base di un fattore di incertezza UF ed di un fattore di modificazione MF.

UF, in particolare, rappresenta il livello di incertezza e assume valori compresi fra 10 e 10000 secondo le indicazioni della tabella seguente.

UF	Condizioni di utilizzo
10	Estrapolazioni di valori sulla base di sperimentazioni affidabili relative ad esposizione prolungate alla vita media umana. Questo valore tiene quindi conto della variabile sensibilità della popolazione umana
100	Estrapolazione di valori sulla base di sperimentazioni affidabili relative ad animali, non essendo disponibili o essendo inadeguati i dati sull'uomo. Questo fattore tiene quindi conto dell'estrapolazione dei risultati dagli animali all'uomo
1000	Estrapolazione di valori di esposizione cronica di animali all'uomo. Questo fattore intende quindi considerare la differenza di effetti cronici sull'uomo rispetto a quella sugli animali
10000	Questo fattore tiene conto dell'incertezza dell'estrapolazione di valori di soglia che hanno dimostrato l'insorgere di effetti negativi al NOAEL

Tabella 1 - Valori del fattore di incertezza UF secondo quanto previsto dall'US EPA (EPA, 1993)

Categoria	Comportamento
A	Sostanza cancerogena per l'uomo
B1	Sostanza probabilmente cancerogena per l'uomo
B2	Sostanza probabilmente cancerogena per l'uomo
C	Sostanza possibilmente cancerogena per l'uomo
D	Sostanza non classificabile come cancerogena per l'uomo
E	Sostanza non cancerogena per l'uomo

Tabella 2 - Classificazione qualitativa della pericolosità per l'uomo di gruppi di sostanze, come previsto dall'US EPA (EPA, 1996)

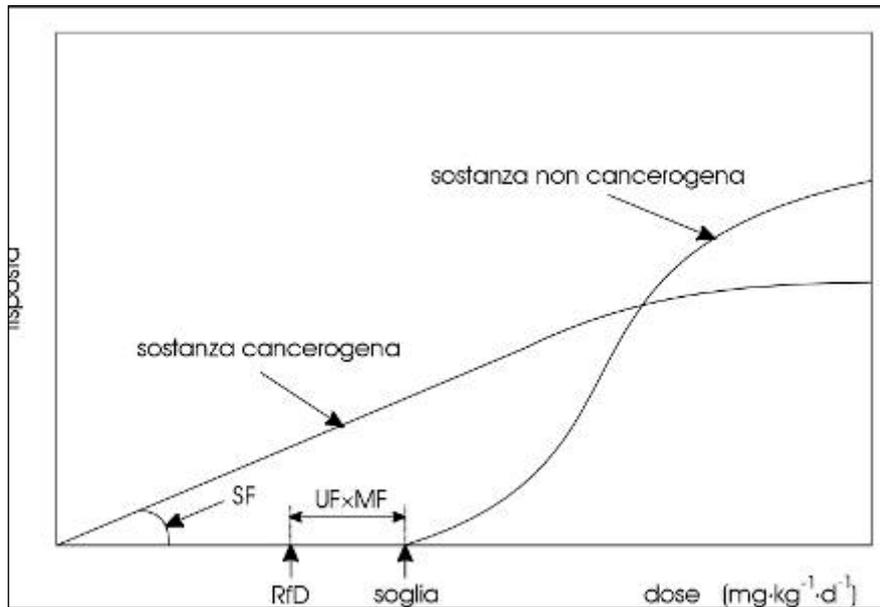


Figura 1- Confronto tra le curve di correlazione dose/risposta di una sostanza tossica cancerogena e di una non cancerogena

Il valore di MF è invece compreso fra 1 e 10 e dipende dal grado di incertezza professionale circa gli studi e le banche dati utilizzati nelle sperimentazioni; in mancanza di indicazioni puntuali, si assume MF = 1.

In conclusione:

$$RfD = \frac{NOAEL}{UF \cdot MF}, \quad \frac{mg}{kg \cdot d}$$

Slope Factor (SF)

Per le sostanze cancerogene, che coinvolgono il DNA e sono causa di effetti genotossici (mutagenesi, teratogenesi, cancerogenesi) si verifica invece una correlazione di tipo lineare nel diagramma dose risposta. In realtà, l'assunzione della linearità per basse dosi costituisce un'ipotesi conservativa in assenza di dati reali; in ogni caso, per tali sostanze si assume che non esista una soglia di non effetto (vedi fig. 1).

La tangente SF del tratto rettilineo della relazione dose risposta per le sostanze cancerogene rappresenta il rischio riferito ad una dose unitaria ed è utilizzato per stimare la probabilità dell'incidenza del cancro associata con una determinata dose giornaliera di una sostanza chimica assunta per la durata di vita.

Il fattore SF è usualmente misurato in $(\text{mg}/\text{kg}/\text{d})^{-1}$ e corrisponde al limite superiore dell'intervallo di confidenza (confidenza del 95%) del modello lineare dose-effetto, valido per le basse dosi. Tenuto conto dei metodi conservativi impiegati, SF fornisce una valutazione elevata del rischio di cancro associato all'esposizione cronica a sostanze chimiche.

7. DEFINIZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE

I dati sito specifici derivanti dalla caratterizzazione del sito, hanno permesso di definire un modello sito specifico utilizzato per l'elaborazione dell'analisi di rischio sanitario.

Per i diversi contaminanti sono state calcolate le rispettive dimensioni geometriche delle "zone sorgenti".

Per quanto riguarda la contaminazione rilevata nelle acque sotterranee profonde, pur avendo individuato per ciascun contaminante la propria area sorgente, ai fini cautelativi si è considerata un'unica area sorgente valida per tutti i contaminanti rilevati e corrispondente all'intera estensione del sito in oggetto. Lo stesso metodo è stato adottato per le acque sotterranee superficiali considerando un'area sorgente, per il solo Manganese rilevato oltre le CSC, corrispondente all'intera estensione del sito. Per la matrice suolo profondo è stata considerata l'area sottesa dal solo piezometro SS1 (area settentrionale del sito).

7.1 Determinazione delle concentrazioni al punto di esposizione

L'analisi di rischio richiede di individuare tutte le vie (o percorsi) di effettiva migrazione, attraverso le quali gli inquinanti indice possono raggiungere i punti di esposizione. L'esposizione di un soggetto recettore può avvenire o direttamente sulla sorgente inquinante o a distanza da questa. Nel caso di esposizione diretta, la concentrazione del contaminante nel punto di conformità coincide con la concentrazione assunta come rappresentativa della sorgente di inquinamento. Per il calcolo dell'esposizione indiretta occorre modellizzare i meccanismi che regolano la migrazione del contaminante dalla sorgente di inquinamento sino al punto di conformità.

Il calcolo della concentrazione nel punto di esposizione può essere fatto mediante modelli analitici o modelli numerici. I modelli analitici (analisi di secondo livello) sono ovviamente più facili da trattare e presuppongono alcune semplificazioni del modello fisico per quanto riguarda le caratteristiche del mezzo:

- ✚ deve essere considerato omogeneo e isotropo,
- ✚ deve avere una geometria della sorgente inquinante semplice (assimilabile ad un parallelogramma),
- ✚ le condizioni al contorno.

I modelli numerici (analisi di terzo livello) consentono, viceversa, di poter considerare le eterogeneità del sistema e di generalizzare la geometria della sorgente inquinante e delle condizioni al contorno; per

contro la loro applicazione richiede una maggiore conoscenza del sistema fisico e, conseguentemente, una fase di valutazione del sito più approfondita.

7.2 Tasso di esposizione

Per ciascuna via di trasporto, l'esposizione o il tasso di esposizione E (exposure rate) a cui ciascun individuo è sottoposto definisce la quantità media di ciascun mezzo ambientale (acqua, aria, terreno) assunto per unità di peso corporeo e per giorno di esposizione. L'esposizione o il tasso di esposizione E è pertanto calcolabile mediante la formula generale:

$$E = \frac{CR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT}$$

dove:

CR è il fattore di contatto, vale a dire la quantità di ciascun mezzo ambientale (acqua, aria, terreno) ingerito, inalato o contattato per unità di tempo o evento. Dimensionalmente, vale L³/T per l'acqua e l'aria, M/T per il suolo; usualmente è espresso in l/giorno o m³/giorno o mg/giorno;

EF è la frequenza di esposizione, adimensionale ma usualmente espressa in giorni/anno;

ED è la durata dell'esposizione [T], usualmente espressa in anni;

BW è il valore medio del peso corporeo durante il periodo di esposizione [M];

AT è il periodo di tempo durante il quale l'esposizione è mediata [T], usualmente espresso in giorni.

8. CALCOLO DEL RISCHIO

Per il calcolo del rischio, occorre distinguere fra sostanze tossiche cancerogene e non.

8.1 Rischio cancerogeno

L'incremento di probabilità di contrarre un tumore nel corso della vita a causa dell'esposizione ad una singola sostanza è dato dal prodotto della dose media giornaliera (calcolata per la durata di vita) per la tangente SF alla correlazione dose-effetto:

$$R = C_{POE} \cdot E \cdot SF$$

Il parametro di rischio R è adimensionale; spesso viene anche indicato con il termine IELCR (Individual Excess Lifetime Cancer Risk). Esso quantifica, pertanto, il numero di eventi di cancro probabilmente rilevabile in una popolazione esposta, eventi da considerarsi in eccesso rispetto al numero di casi di cancro che normalmente colpiscono un'analogha popolazione non esposta (popolazione di controllo).

Il rischio calcolato con l'espressione precedente va inteso come un limite di confidenza superiore al 95%, ossia vi è soltanto il 5% di probabilità che il rischio effettivo possa essere più alto di quello stimato.

Gli effetti cumulativi conseguenti all'esposizione di più composti tossici e/o cancerogeni non sono ancora ben noti. In assenza di informazioni più dettagliate, al fine di procedere a valutazioni di carattere conservativo, si è soliti procedere alla sommatoria dei singoli valori di rischio di tutte le N

sostanze indice considerate per tutte le M vie di esposizione. Il rischio cancerogeno totale vale pertanto:

$$IELCR_T = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M IELCR_{ji}$$

8.2 Rischio tossico

Per le sostanze non cancerogene il rischio è espresso da un indicatore definito “quoziente di rischio” (hazard quotient) HQ, determinato dividendo la dose media giornaliera (calcolata sulla durata effettiva di esposizione) per la dose di riferimento

Il quoziente di rischio esprime quante volte la dose media giornaliera, calcolata sulla base dell'effettivo periodo di esposizione, supera la dose di riferimento. Poiché entrambi i parametri citati sono espressi in mg/kg/d, anche HQ è adimensionale.

L'indicatore HQ non esprime, pertanto, una probabilità, ma rappresenta il rapporto tra l'effettivo livello di esposizione e la soglia che non comporta effetti tossici sulla popolazione.

E' evidente che se $HQ < 1$ non c'è rischio, mentre se $HQ > 1$ potrebbero potenzialmente prodursi effetti patologici sulla popolazione più sensibile.

Analogamente a quanto riportato per le sostanze cancerogene, anche per le sostanze tossiche il rischio totale HI (Hazard Index) viene calcolato sommando i contributi dovuti a tutte le N sostanze indice considerate per tutte le M vie di esposizione attive:

$$HI = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M HQ_{ji}$$

L'approccio additivo sopra esposto è valido nell'ipotesi che non vi sia interazione sinergica e/o antagonista tra le differenti sostanze chimiche in oggetto. Va in ogni caso osservato che i rischi dovuti a distinte vie di esposizione dovrebbero essere sommati solo se lo stesso individuo o gruppo di individui ha elevata probabilità di essere esposto, in corrispondenza del POE, attraverso diverse vie.

9. APPLICAZIONE DELLA PROCEDURA AL CASO IN ESAME

I dati sito specifici derivanti dalla caratterizzazione ambientale del sito, hanno permesso di definire il modello per l'elaborazione dell'analisi di rischio sanitario.

Le sorgenti secondarie risultate “potenzialmente contaminate” (art. 240 comma 1 lett. d) sono rappresentate dalle acque sotterranee sia della falda profonda sia della falda superficiale e dal suolo profondo. Il 17.12.2019 è stata espletata la campagna di monitoraggio delle acque sotterranee che ha rilevato la presenza, per la falda superficiale, del solo Manganese oltre i limiti di legge (CSC) e, per la falda profonda si è rilevata la presenza di Manganese, Ferro, Arsenico ed alcuni solventi clorurati quali Cloruro di Vinile, 1,1Dicloroetilene e 1,2Dicloropropano oltre le concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) di cui all'allegato 5 del titolo V del D.Lgs 152/06 e s.m.i.

Per le acque sotterranee, quindi, sono state individuate le aree sorgenti relative ai diversi inquinanti.

In via cautelativa, considerando che alcuni contaminanti sono stati rilevati solo puntualmente, è stata considerata un'unica area sorgente coincidente con l'intero sito in esame, sia per la falda superficiale sia

per la falda profonda. Per la matrice suolo profondo è stata considerata l'area sottesa dal solo piezometro SS1 presente all'estremo settentrionale del sito. (vedi allegati)

Volendo determinare il rischio nelle condizioni più cautelative possibili, le concentrazioni alle sorgenti considerate per ciascun contaminante **sono le massime riscontrate**.

Per la soggiacenza della falda o profondità del livello (L_{GW}) piezometrico è stata considerata la minima riscontrata relativamente alle due falde intercettate entro i primi 18 metri.

In particolare, il dato di soggiacenza utilizzato per la sorgente in falda superficiale è pari a 5,73 m mentre, per la sorgente in falda profonda la soggiacenza è pari a 10,50 m.

Lo scenario di rischio ipotizzato per la contaminazione nelle acque è legato alla esposizione indiretta ai contaminanti per un "bersaglio/recettore" commerciale/industriale, lavoratore:

- ✦ **Meccanismo di trasporto** - *Volatilizzazione di vapori provenienti dalla falda, processo secondo il quale i solventi particolarmente volatili o semivolatili in soluzione nelle acque sotterranee e nei pori del terreno migrano sotto forma di vapori verso la superficie del terreno;*
- ✦ **Esposizione indiretta** - *inalazione di vapori provenienti dalla falda indoor e all'aperto per recettori on site;*

Per il suolo profondo lo scenario di rischio ipotizzato per la contaminazione è legato alla esposizione indiretta ai contaminanti per un "bersaglio/recettore" commerciale/industriale, lavoratore:

- ✦ **Meccanismo di trasporto** - *Volatilizzazione di vapori provenienti dal suolo profondo, processo secondo il quale i composti particolarmente volatili o semivolatili in soluzione nei pori del terreno migrano sotto forma di vapori verso la superficie del terreno.*
- ✦ **Esposizione indiretta** *inalazione di vapori provenienti dal suolo profondo all'aperto e al chiuso per recettori on site.*

9.1 Dati sito specifici per l'analisi di rischio

Al fine di caratterizzare in dettaglio il sito, per avere una rappresentazione quanto più possibile reale nella costruzione del modello geologico ambientale per l'analisi di rischio, le indagini di caratterizzazione preliminare sono state integrate con:

- ✦ *analisi dei dati meteo climatici, direzione e velocità del vento (stazione meteo di Chieti);*
- ✦ *caratteristiche dei terreni (densità, permeabilità, contenuto volumetrico d'acqua, d'aria) ecc.;*
- ✦ *geometria della sorgente;*

Analisi granulometriche

Avendo a disposizione analisi granulometriche svolte secondo le indicazioni APAT su campioni di terreno rappresentativi dell'orizzonte insaturo e dell'orizzonte saturo, la classificazione litologica del sottosuolo si è basata sulle risultanze di dette analisi. Nello specifico, l'insaturo è stato classificato come Sandy Loam ed il saturo come Sand ovvero sabbioso.

Nella tabella sottostante si riportano alcuni dei parametri ricavabili dalle granulometrie- caratteristiche dei terreni (permeabilità, contenuto volumetrico d'acqua, d'aria ecc.).

Struttura	Spessore frangia capillare h_{cap} (cm) Fetter (1994)	Conducibilità idraulica K_{sat} (cm/sec) Carsel and Parrish., 1988	Porosità totale	Porosità effettiva	Contenuto volumetrico di aria nella frangia capillare	Contenuto volumetrico di acqua
Sandy Clay Loam (zona insatura)	25.9	3.64×10^{-04}	0.39	0.290	0.112	0.178

Sandy Loam (zona insatura)	25	1.23×10^{-03}	0.41	0.345	0.151	0.194
Sand (zona insatura)	10	8.25×10^{-03}	0.43	0.385	0.055	0.068
Sandy Clay Loam (zona satura)	25.9	3.64×10^{-04}	0.39	0.290	0.042	0.248
Sandy Loam (zona satura)	25	1.23×10^{-03}	0.41	0.345	0.057	0.288
Sand (zona satura)	10	8.25×10^{-03}	0.43	0.385	0.055	0.08

Analisi dei dati meteorologici della stazione localizzata presso Chieti

Precipitazioni media annua - 1.002 mm/a;

direzione venti - da nord ovest

velocità vento – 1,72 m/sec a 10 metri dal suolo

Infiltrazione efficace calcolata – $I_{ef} = 0,0009 p^2$ (precipitazione media annua) = 90,00 cm/a

10. RISULTATI DELL'ANALISI DI RISCHIO – LIVELLO 2

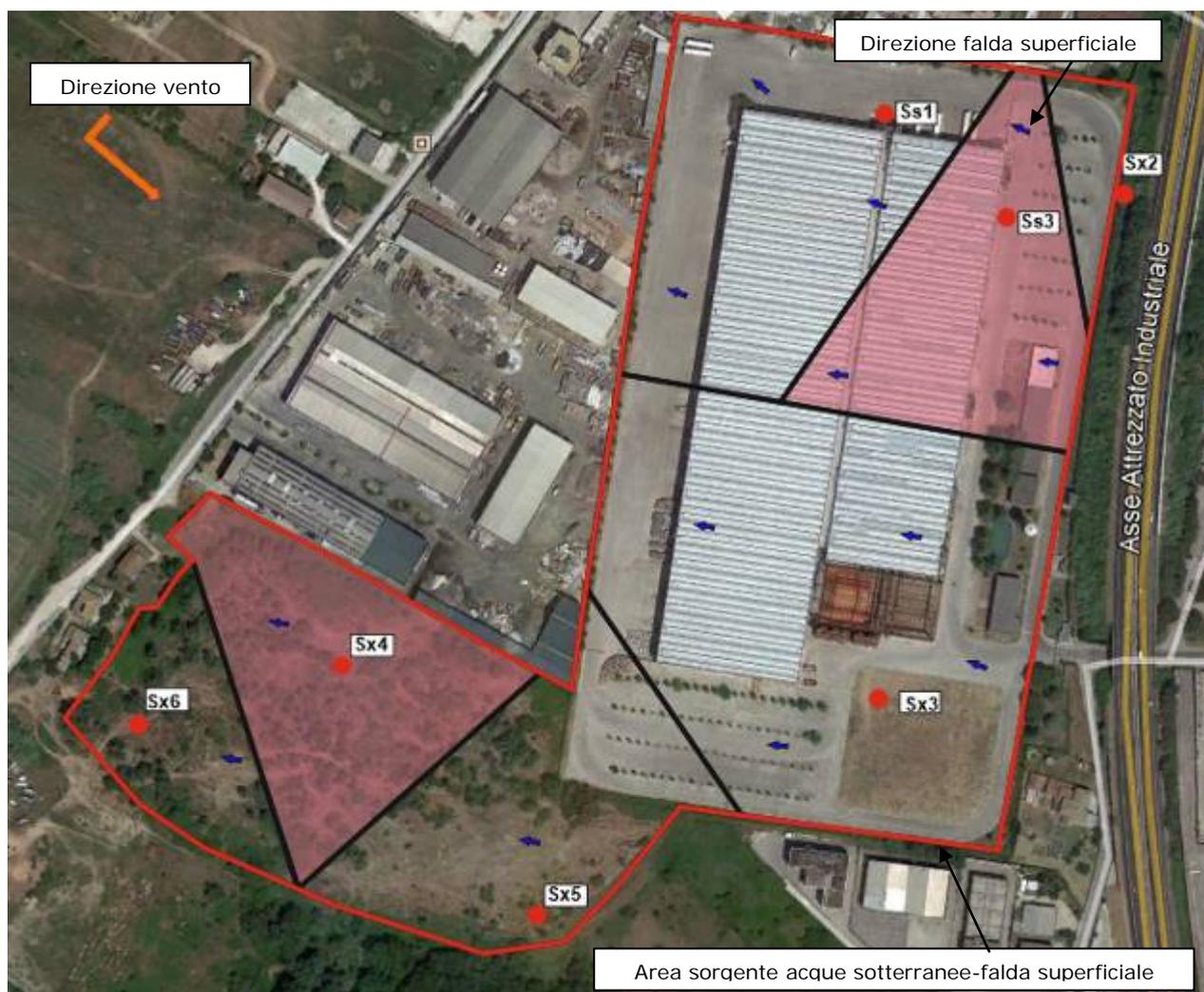
Per il comparto acque sotterranee e suolo profondo, sono state utilizzate le concentrazioni massime rilevate nell'area sorgente individuata.

Matrice acqua sotterranea (falda superficiale) – intero sito

Tabella riepilogativa acque intero sito	
<i>Risk-net 3.1</i>	
Sorgenti di contaminazione primaria	<i>Attività svolte in siti adiacenti/sversamenti solventi clorurati ed attività svolta in sito sversamento solventi clorurati/interramento scorie di fusione</i>
Sorgente di contaminazione secondaria	<i>Acque sotterranee - FALDA SUPERFICIALE (area sorgente, intero sito)</i>
Contaminanti indice alla sorgente (utilizzo della massima concentrazione rilevata)	<i>Manganese=318 µg/l</i>
Dimensione della sorgente	<i>Estensione circa 143.979 mq Estensione sorgente ortogonale ⊥ al flusso di falda (SW) – 400m Estensione sorgente parallelo // al flusso di falda (W) – 280m Spessore acquifero 5,00 m</i>
Potenziali meccanismi di trasporto	<i>Volatilizzazione di vapori dalla falda (processo secondo il quale le specie chimiche volatili e semivolatili in soluzione nelle acque sotterranee e nei pori del terreno migrano sotto forma di vapori verso la superficie del terreno). Contaminazione in falda.</i>
Vie di esposizione attive	<i>Esposizione diretta: Contaminazione in falda Esposizione indiretta: inalazione on site ed off site di vapori provenienti dalla falda all'aperto e indoor</i>
Bersagli/recettori	<i>Commerciale/industriale (bersaglio/recettore adulto lavoratore on site)</i>
DATI AMBIENTALI /CARATTERISTICHE del SITO	<i>precipitazioni media annua - 100,2 cm/a; direzione venti - da nord ovest velocità vento – 1,72 m/sec infiltrazione efficace calcolata – $I_{ef} = 0,0009 P^2$</i>
Parametri terreno e acquifero	<i>vedi tabelle (insaturo sandy loam – saturo sand)</i>
Parametri di esposizione	<i>(Linee guida APAT, default Risk-net 3.1)</i>
Criteri accettabilità rischio	<i>Rischio cancerogeno accettabile per singola sostanza 10^{-6} Rischio cancerogeno accettabile cumulativo 10^{-5} Indice di rischio accettabile relativo all'esposizione ad un singolo Agente tossico (Hazard Quotient - HQ) < 1 Indice di rischio accettabile cumulativo (Hazard Index - HI) < 1</i>
OBIETTIVI DELL'ANALISI DI RISCHIO	
Calcolo concentrazioni soglia di rischio (CSR)	

Concentrazioni alla sorgente

Terreno e Falda		Copia tabella		Help	
Contaminante	Falda				
	Concentrazione in acqua				
	Selezionati	<input type="radio"/> (mg/L)			
		<input checked="" type="radio"/> (µg/L)			
Manganese	<input checked="" type="checkbox"/>				318

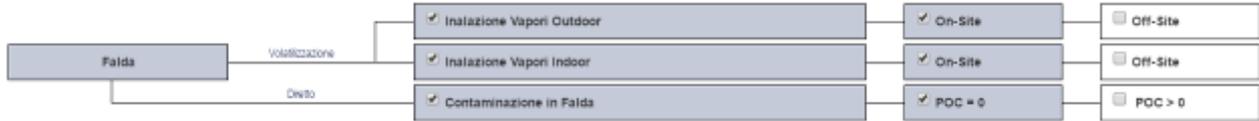


Per le acque sotterranee dell'acquifero superficiale intercettate entro i primi 10 metri dall'attuale piano campagna, si è assunta come area sorgente l'intera estensione del sito anche se le analisi hanno evidenziato superamenti delle CSC per il Manganese nei soli punti di prelievo denominati SS3 ed SX4.

Dimensioni area sorgente (m)

Sw Estens. Sorg. Ortog. falda	W Estens. Sorg. in direz falda	Sw' Estens. Ortog. al vento	W' Estens. in direzione vento
400	280	400	280

MODELLO CONCETTUALE



parametri terreno ed acquifero

Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Geometria Sorgenti					
<input checked="" type="checkbox"/> Stessa dimensione per tutte le sorgenti					
Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	W	45	45	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	Sw	45	45	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Altezza della zona di miscelazione in aria	δair	2	2	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W'	45	280	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale a quella del vento	Sw'	45	45	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Suolo Superficiale					
Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	Ls,SS	0	0	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Spessore della sorgente nel suolo superficiale insaturo	d	1	1	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Suolo Profondo					
Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	Ls,SP	1	1	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Spessore della sorgente nel suolo profondo insaturo	ds	2	2	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Falda					
Soggiacenza della falda da p.c.	Lgw	3	5,73	m	<input checked="" type="checkbox"/>

Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Tessitura della Zona Insatura					
Selezione la tessitura rappresentativa del suolo insaturo			Loamy Sand ▼		
Porosità efficace del terreno in zona insatura	ße	Letteratura	0.353	-	<input checked="" type="checkbox"/>
Contenuto volumetrico di acqua nel suolo	ßw	Letteratura	0.103	-	<input checked="" type="checkbox"/>
Contenuto volumetrico di aria nel suolo	ßa	Letteratura	0.25	-	<input checked="" type="checkbox"/>
Contenuto volumetrico di acqua nella frangia capillare	ßw,cap	Letteratura	0.318	-	<input checked="" type="checkbox"/>
Contenuto volumetrico di aria nella frangia capillare	ßa,cap	Letteratura	0.036	-	<input checked="" type="checkbox"/>
Spessore della frangia capillare	hcap	Letteratura	0.180	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Carico idraulico critico (potenziale di matrice)	hcr	Letteratura	0.0486	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Conducibilità idraulica del terreno nella zona insatura	Ksat,s	Letteratura	4.05e-5	m/s	<input checked="" type="checkbox"/>
Batteria idrico in superficie	Hw	0.25	0.25	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Lente a bassa permeabilità sopra la sorgente (volatilizzazione da suolo profondo e falda)			<input type="checkbox"/> Inscrisci lente		

Caratteristiche della Zona Insatura						
Densità del suolo	ps	1.7	<input type="text" value="1,7"/>	g/cm ³	<input checked="" type="checkbox"/>	
pH del suolo	pH	6.8	<input type="text" value="6,8"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	
Frazione di carbonio organico - suolo superficiale	foc,SS	0.01	<input type="text" value="0,01"/>	g/g	<input checked="" type="checkbox"/>	
Frazione di carbonio organico - suolo profondo	foc,SP	0.01	<input type="text" value="0,01"/>	g/g	<input checked="" type="checkbox"/>	
Frazione residua dei pori nel suolo (per calcolo Cres)	Sr	0.04	<input type="text" value="0,04"/>	m	<input checked="" type="checkbox"/>	
Spessore della zona insatura	hv	Calcolato	<input type="text" value="5.542"/>	m	<input checked="" type="checkbox"/>	
Infiltrazione nel sottosuolo						
Calcola l'infiltrazione efficace nel suolo			<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato			
Pioggia media annua	P	129	<input type="text" value="129"/>	cm/y	<input checked="" type="checkbox"/>	
Frazione areale di fratture outdoor	η_{out}	1	<input type="text" value="1"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	
Infiltrazione efficace nel suolo	lef	Calcolato	<input type="text" value="29.95"/>	cm/y	<input checked="" type="checkbox"/>	
Telo in HDPE o strato a bassa permeabilità tra la sorgente e la falda (lisciviazione da suolo in falda)			<input type="checkbox"/> Inserisci			
Altri parametri intermedi						
Spessore della zona di miscelazione in falda	δ_{gw}	Calcolato	<input type="text" value="2.00"/>	m	no check	
Fattore di diluizione in falda	LDF	Calcolato	<input type="text" value="4.86"/>	-	no check	

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

Parametri ambientali

Outdoor					
Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Dati Meteo					
Velocità del vento	Uair	2.25	1,72	m/s	✓
Calcola velocità del vento			<input type="checkbox"/> Calcolato		
Portata di particolato per unità di superficie	Pe	6.9e-14	6.9e-14	g/cm/s²	✓
Dispersione in atmosfera					
Distanza recettore off site - ADF	POCADF	100	100	m	✓
Classe di Stabilità Atmosferica			Urbano - Classe A-B ▾		
Coefficiente di dispersione trasversale	σ_y	Calcolato	31.38	m	✓
Coefficiente di dispersione verticale	σ_z	Calcolato	23.88	m	✓
Profondità della zona aerobica da p.c.	La Outdoor	1	1	m	✓

Indoor					
Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Caratteristiche edificio on-site					
Profondità delle fondazioni da p.c.	Z crack	0.15	0,15	m	✓
Spessore delle fondazioni	L crack	0.15	0,15	m	✓
Frazione areale di fratture indoor	η	0.01	0,01	m²/m²	✓
Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione	Lb	2	2	m	✓
Contenuto volumetrico di acqua nelle fondazioni	$\theta_w, crack$	0.12	0,12	-	✓
Contenuto volumetrico di aria nelle fondazioni	$\theta_a, crack$	0.26	0,26	-	✓
Tasso di ricambio di aria indoor	ER	0.00014	0,00014	1/s	✓
Differenza di pressione tra outdoor e indoor	Δp	0	0	g/cm/s²	no check
Flusso convettivo entrante nell'edificio			<input type="checkbox"/> Inserisci valore sito-specifico		
Superficie totale coinvolta nell'infiltrazione	Ab	70	70	m²	✓
Permeabilità del suolo al flusso di vapore*	Kv	1e-12	1e-12	m²	✓
Perimetro delle fondazioni/muri	x crack	34	34	m	✓
Viscosità del vapore	μ_{air}	0.000181	0,000181	g/cm/s	✓
Flusso convettivo entrante nell'edificio	Qs	Calcolato	0.00e+0	L/min	✓
Profondità della zona aerobica dalle fondazioni	La Indoor	1	1	m	✓

* Le linee guida ISPRA suggeriscono di usare dei dati di Kv tra 1E-10 m² e 1E-11 m² per le sabbie medie, tra 1E-11 m² e 1E-12 m² per le sabbie fini, tra 1E-12 m² e 1E-13 m² per i limi e tra 1E-13 m² e 1E-14 m² per le argille.

Il calcolo diretto del Rischio sanitario presenta, per il Manganese, valori al di sotto dei limiti. Per il rischio risorsa idrica invece si ha superamento del limite.

Contaminanti	CRS (µg/l)	CSC (µg/l l)	Rischio cancerogeno	Indice di Pericolo (HI)	RGW Rischio risorsa idrica
Manganese	318	50	-	-	6,36

ON SITE	Rtot	HI tot
Outdoor	-	-
Indoor	-	-

I risultati dell'analisi di rischio in modalità inversa per la determinazione delle CSR (concentrazione soglia di rischio-obiettivo di bonifica) così come previsto dall'art. 242 e allegato 1 del Dlgs 152/06 e s.m.i. evidenzia:

ONSITE:

<i>Contaminanti</i>	<i>CRS ($\mu\text{g}/\text{l}$)</i>	<i>CSR inalazione vapori indoor ($\mu\text{g}/\text{l}$)</i>	<i>note</i>
Manganese	318	-	CSR>CRS

<i>Contaminanti</i>	<i>CRS ($\mu\text{g}/\text{l}$)</i>	<i>CSR inalazione vapori outdoor ($\mu\text{g}/\text{l}$)</i>	<i>note</i>
Manganese	318	-	CSR>CRS

<i>Contaminanti</i>	<i>CRS ($\mu\text{g}/\text{l}$)</i>	<i>CSR protezione risorsa idrica ($\mu\text{g}/\text{l}$)</i>	<i>note</i>
Manganese	318	50	CSR<CRS

<i>ON SITE</i>	<i>R_{tot}</i>	<i>HI_{tot}</i>
Outdoor	-	-
Indoor	-	-

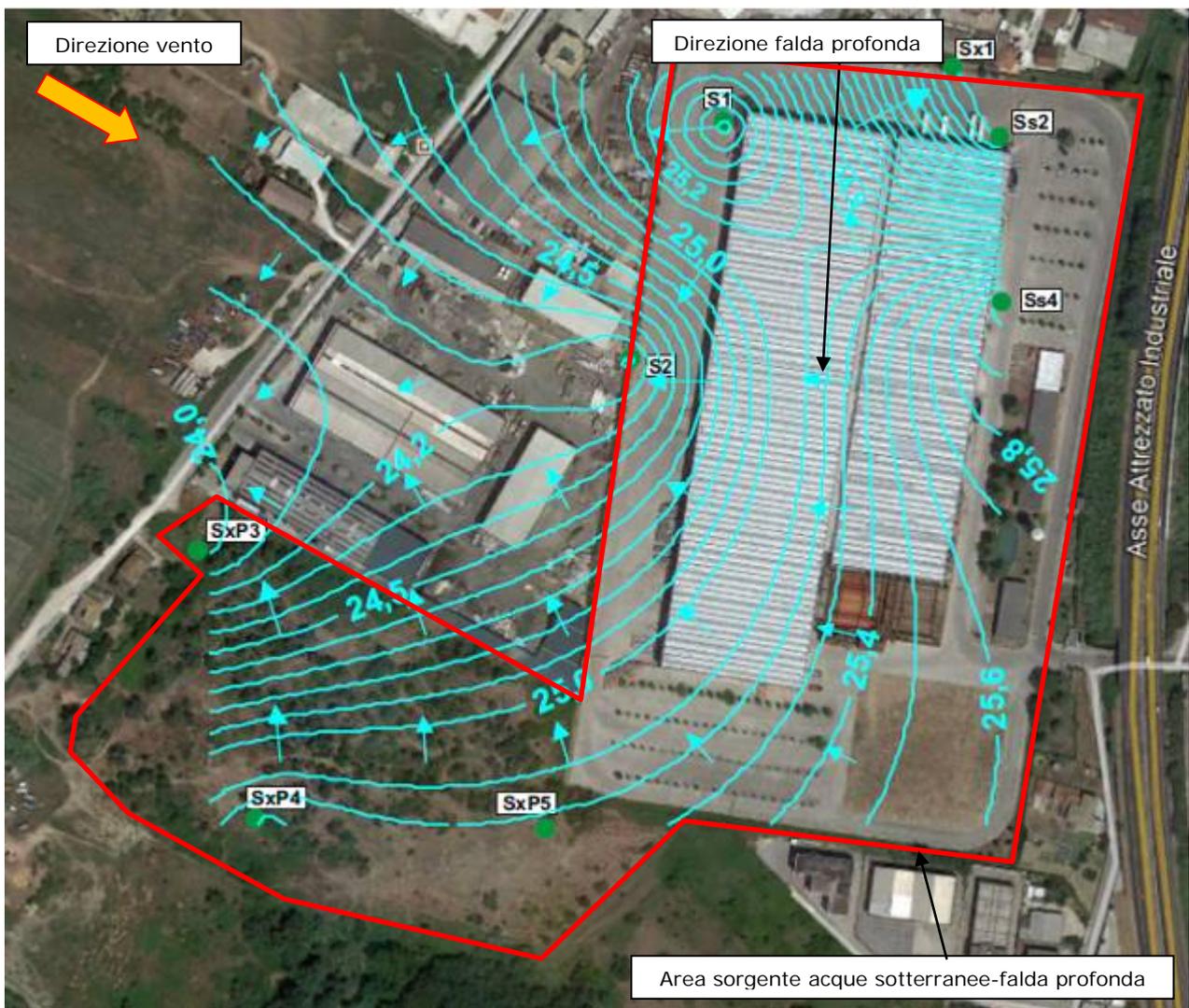
Il calcolo del Rischio sanitario sia in modalità diretta che inversa non ha evidenziato superamenti dei limiti. D'altra parte il calcolo del Rischio per la risorsa idrica ha evidenziato che le CSR non risultano verificate ovvero sono inferiori alle concentrazioni massime degli analiti ricercati (CSR<CRS).

Matrice acqua sotterranea (falda profonda) – intero sito

Tabella riepilogativa acque intero sito	
<i>Risk-net 3.1</i>	
Sorgenti di contaminazione primaria	<i>Attività svolte in siti adiacenti/sversamenti solventi clorurati ed attività svolta in sito sversamento solventi clorurati/interramento scorie di fusione</i>
Sorgente di contaminazione secondaria	<i>Acque sotterranee - FALDA PROFONDA (area sorgente, intero sito)</i>
Contaminanti indice alla sorgente (utilizzo della massima concentrazione rilevata)	<i>Manganese=1.300 µg/l; Ferro=9.370 µg/l; CVM=2,68 µg/l; Arsenico=17 µg/l; 1,1Dicloroetilene=0,171 µg/l; 1,2 Dicloropropano=0,167 µg/l.</i>
Dimensione della sorgente	<i>Estensione circa 143.979 mq Estensione sorgente ortogonale ⊥ al flusso di falda (SW) – 490m Estensione sorgente parallelo // al flusso di falda (W) – 230m Spessore acquifero 8,00 m</i>
Potenziali meccanismi di trasporto	<i>Volatilizzazione di vapori dalla falda (processo secondo il quale le specie chimiche volatili e semivolatili in soluzione nelle acque sotterranee e nei pori del terreno migrano sotto forma di vapori verso la superficie del terreno). Contaminazione in falda.</i>
Vie di esposizione attive	<i>Esposizione diretta: Contaminazione in falda Esposizione indiretta: inalazione on site ed off site di vapori provenienti dalla falda all'aperto e indoor</i>
Bersagli/recettori	<i>Commerciale/industriale (bersaglio/recettore adulto lavoratore on site)</i>
DATI AMBIENTALI /CARATTERISTICHE del SITO	<i>precipitazioni media annua - 100,2 cm/a; direzione venti - da nord ovest velocità vento – 1,72 m/sec infiltrazione efficace calcolata – $I_{ef} = 0,0009 P^2$</i>
Parametri terreno e acquifero	<i>vedi tabelle (insaturo sandy loam – saturo sand)</i>
Parametri di esposizione	<i>(Linee guida APAT, default Risk-net 3.1)</i>
Criteri accettabilità rischio	<i>Rischio cancerogeno accettabile per singola sostanza 10^{-6} Rischio cancerogeno accettabile cumulativo 10^{-5} Indice di rischio accettabile relativo all'esposizione ad un singolo Agente tossico (Hazard Quotient - HQ) <1 Indice di rischio accettabile cumulativo (Hazard Index - HI) <1</i>
OBIETTIVI DELL'ANALISI DI RISCHIO	
Calcolo concentrazioni soglia di rischio (CSR)	

Concentrazioni alla sorgente

Terreno e Falda		Falda	
Contaminante	Selezionati	Concentrazione in acqua	
		(mg/L)	(µg/L)
Ferro	✓		9370
Manganese	✓		1300
Arsenico	✓		17
Dicloropropano (1,2)	✓		0,167
Cloruro di vinile	✓		2,68
Dicloroetilene (1,1)	✓		0,171



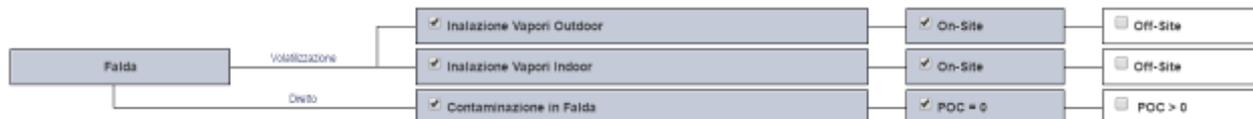
Per la falda profonda intercettata oltre i 10 metri dall'attuale piano campagna, si è assunta come area sorgente l'intera estensione del sito anche se le analisi hanno evidenziato superamenti delle CSC per alcuni analiti solo in ristrette aree. Per l'1,1Dicloroetilene e 1,2Dicloropropano si rileva superamento delle CSC nel solo piezometro S2 mentre il CVM supera i limiti di legge nei soli punti S2, SXP5 ed SXP3.

L'Arsenico evidenzia superamenti delle CSC nel solo punto di prelievo SXP4. Il Manganese ed il Ferro presentano superamenti delle CSC in quasi tutti i punti di prelievo.

Dimensioni area sorgente (m)

<i>Sw</i> <i>Estens. Sorg. Ortog. falda</i>	<i>W</i> <i>Estens. Sorg. in direz falda</i>	<i>Sw'</i> <i>Estens. Ortog. al vento</i>	<i>W'</i> <i>Estens. in direzione vento</i>
490	230	530	295

MODELLO CONCETTUALE



parametri terreno ed acquifero

Descrizione		Valore				
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check	
Geometria Sorgenti						
Definisci geometria sorgenti		<input checked="" type="checkbox"/> Stessa dimensione per tutte le sorgenti				
Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	W	45	45	m	✓	
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	Sw	45	45	m	✓	
Altezza della zona di miscelazione in aria	δair	2	2	m	✓	
Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W'	45	295	m	✓	
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale a quella del vento	Sw'	45	45	m	✓	
Suolo Superficiale						
Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	Ls,SS	0	0	m	✓	
Spessore della sorgente nel suolo superficiale insaturo	d	1	1	m	✓	
Suolo Profondo						
Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	Ls,SP	1	1	m	✓	
Spessore della sorgente nel suolo profondo insaturo	ds	2	2	m	✓	
Falda						
Soggiacenza della falda da p.c.	Lgw	3	10,5	m	✓	

Descrizione		Valore				
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check	
Tessitura della Zona Insatura						
Seleziona la tessitura rappresentativa del suolo insaturo			Loamy Sand			
Porosità efficace del terreno in zona insatura	θe	Letteratura	0.353	-	✓	
Contenuto volumetrico di acqua nel suolo	θw	Letteratura	0.103	-	✓	
Contenuto volumetrico di aria nel suolo	θa	Letteratura	0.25	-	✓	
Contenuto volumetrico di acqua nella frangia capillare	θw,cap	Letteratura	0.318	-	✓	
Contenuto volumetrico di aria nella frangia capillare	θa,cap	Letteratura	0.035	-	✓	
Spessore della frangia capillare	hcap	Letteratura	0.188	m	✓	
Carico idraulico critico (potenziale di matrice)	hcr	Letteratura	-0.0486	m	✓	
Conducibilità idraulica del terreno nella zona insatura	Ksat,s	Letteratura	4.05e-5	m/s	✓	
Battente idrico in superficie	Hw	0.25	0,25	m	✓	

Caratteristiche della Zona Insatura						
Densità del suolo	ps	1.7	<input type="text" value="1,7"/>	g/cm ³	<input checked="" type="checkbox"/>	
pH del suolo	pH	6.8	<input type="text" value="6,8"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	
Frazione di carbonio organico - suolo superficiale	foc,SS	0.01	<input type="text" value="0,01"/>	g/g	<input checked="" type="checkbox"/>	
Frazione di carbonio organico - suolo profondo	foc,SP	0.01	<input type="text" value="0,01"/>	g/g	<input checked="" type="checkbox"/>	
Frazione residua dei pori nel suolo (per calcolo Cres)	Sr	0.04	<input type="text" value="0,04"/>	m	<input checked="" type="checkbox"/>	
Spessore della zona insatura	hv	Calcolato	<input type="text" value="10.312"/>	m	<input checked="" type="checkbox"/>	
Infiltrazione nel sottosuolo						
Calcola l'infiltrazione efficace nel suolo			<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato			
Pioggia media annua	P	129	<input type="text" value="129"/>	cm/y	<input checked="" type="checkbox"/>	
Frazione areale di fratture outdoor	η _{out}	1	<input type="text" value="1"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	
Infiltrazione efficace nel suolo	lef	Calcolato	<input type="text" value="29.95"/>	cm/y	<input checked="" type="checkbox"/>	
Telo in HDPE o strato a bassa permeabilità tra la sorgente e la falda (lisciviazione da suolo in falda)			<input type="checkbox"/> Inserisci			
Altri parametri intermedi						
Spessore della zona di miscelazione in falda	δ _{gw}	Calcolato	<input type="text" value="2.00"/>	m	no check	
Fattore di diluizione in falda	LDF	Calcolato	<input type="text" value="4.86"/>	-	no check	

Zona Saturata						
Descrizione		Valore				
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check	
Tessitura della Zona Saturata						
Seleziona la tessitura rappresentativa del suolo saturo			<input type="text" value="Sand"/>			
Conducibilità idraulica del terreno saturo	K _{sat}	Letteratura	<input type="text" value="8.25e-5"/>	m/s	<input checked="" type="checkbox"/>	
Porosità efficace del terreno in zona saturo	θ _{e,sat}	Letteratura	<input type="text" value="0.385"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	
Caratteristiche della Zona Saturata						
Spessore acquifero	da	2	<input type="text" value="2"/>	m	<input checked="" type="checkbox"/>	
Gradiente idraulico	i	0.01	<input type="text" value="0,01"/>	m/m	<input checked="" type="checkbox"/>	
Velocità di Darcy	v _{gw}	Calcolato	<input type="text" value="8.25e-7"/>	m/s	<input checked="" type="checkbox"/>	
Velocità media effettiva nella falda	v _e	Calcolato	<input type="text" value="2.14e-6"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	
Frazione di carbonio organico - suolo saturo	foc,sat	0.001	<input type="text" value="0,001"/>	g/g	<input checked="" type="checkbox"/>	
Frazione residua dei pori nel suolo saturo (per calcolo Cres)	Sr	0.04	<input type="text" value="0,04"/>	m	<input checked="" type="checkbox"/>	
Trasporto e dispersione in falda						
Distanza punto di conformità in falda	POC	100	<input type="text" value="100"/>	m	<input checked="" type="checkbox"/>	
Calcola automaticamente coefficienti di dispersione in falda			<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato			
Dispersività longitudinale in falda	ax	Calcolato	<input type="text" value="10.00"/>	m	<input checked="" type="checkbox"/>	
Dispersività trasversale in falda	ay	Calcolato	<input type="text" value="3.33"/>	m	<input checked="" type="checkbox"/>	
Dispersività verticale in falda	az	Calcolato	<input type="text" value="0.50"/>	m	<input checked="" type="checkbox"/>	

Parametri ambientali

Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Caratteristiche edificio on-site					
Profondità delle fondazioni da p.c.	Z crack	0.15	0,15	m	✓
Spessore delle fondazioni	L crack	0.15	0,15	m	✓
Frazione areale di fratture indoor	η	0.01	0,01	m ² /m ²	✓
Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione	Lb	3	3	m	✓
Contenuto volumetrico di acqua nelle fondazioni	$\theta_w, crack$	0.12	0,12	-	✓
Contenuto volumetrico di aria nelle fondazioni	$\theta_a, crack$	0.26	0,26	-	✓
Tasso di ricambio di aria indoor	ER	0.00023	0,00023	1/s	✓
Differenza di pressione tra outdoor e indoor	Δp	0	0	g/cm/s ²	no check
Flusso convettivo entrante nell'edificio	<input type="checkbox"/> Inserisci valore sito-specifico				
Superficie totale coinvolta nell'infiltrazione	Ab	70	70	m ²	✓
Permeabilità del suolo al flusso di vapore*	Kv	1e-12	1e-12	m ²	✓
Perimetro delle fondazioni/muri	x crack	34	34	m	✓
Viscosità del vapore	μ_{air}	0.000181	0,000181	g/cm/s	✓
Flusso convettivo entrante nell'edificio	Qs	Calcolato	0.00e+0	L/min	✓
Profondità della zona aerobica dalle fondazioni	La Indoor	1	1	m	✓

* Le linee guida ISPRA suggeriscono di usare dei dati di Kv tra 1E-10 m² e 1E-11 m² per le sabbie medie, tra 1E-11 m² e 1E-12 m² per le sabbie fini, tra 1E-12 m² e 1E-13 m² per i limi e tra 1E-13 m² e 1E-14 m² per le argille.

Il calcolo diretto del Rischio sanitario presenta tutti i valori al di sotto dei limiti. Per il rischio risorsa idrica invece si ha superamento del limite per tutti gli analiti.

Contaminanti	CRS (µg/l)	CSC (µg/l l)	Rischio cancerogeno	Indice di Pericolo (HI)	RGW Rischio risorsa idrica
Arsenico	17	10	-	-	1,7
Ferro	9370	200	-	-	46,9
Manganese	1300	50	-	-	26
CVM	2,68	0,5	9,81x10 ⁻⁹	6,24x10 ⁻⁵	5,36
1,1Dicloroetilene	0,171	0,05	-	1,54x10 ⁻⁶	3,42
1,2Dicloropropano	0,167	0,15	6,81x10 ⁻¹¹	1,29x10 ⁻⁵	1,11

ON SITE	Rtot	HI tot
Outdoor	6,49x10 ⁻¹⁰	5,15x10 ⁻⁶
Indoor	9,88x10 ⁻⁹	7,69x10 ⁻⁵

I risultati dell'analisi di rischio in modalità inversa per la determinazione delle CSR (concentrazione soglia di rischio-obiettivo di bonifica) così come previsto dall'art. 242 e allegato 1 del Dlgs 152/06 e s.m.i. evidenzia:

ONSITE:

Contaminanti	CRS (µg/l)	CSR inalazione vapori indoor (µg/l)	note
Arsenico	17	-	CSR>CRS
Ferro	9370	-	CSR>CRS
Manganese	1300	-	CSR>CRS
CVM	2,68	273	CSR>CRS

1,1Dicloroetilene	0,171	$1,11 \times 10^{+5}$	CSR>CRS
1,2Dicloropropano	0,167	$2,45 \times 10^{+3}$	CSR>CRS

Contaminanti	CRS ($\mu\text{g/l}$)	CSR inalazione vapori outdoor ($\mu\text{g/l}$)	note
Arsenico	17	-	CSR>CRS
Ferro	9370	-	CSR>CRS
Manganese	1300	-	CSR>CRS
CVM	2,68	$4,16 \times 10^{+3}$	CSR>CRS
1,1Dicloroetilene	0,171	$1,69 \times 10^{+6}$	CSR>CRS
1,2Dicloropropano	0,167	$3,31 \times 10^{+4}$	CSR>CRS

Contaminanti	CRS ($\mu\text{g/l}$)	CSR protezione risorsa idrica ($\mu\text{g/l}$)	note
Arsenico	17	10	CSR<CRS
Ferro	9370	200	CSR<CRS
Manganese	1300	50	CSR<CRS
CVM	2,68	0,5	CSR<CRS
1,1Dicloroetilene	0,171	0,05	CSR<CRS
1,2Dicloropropano	0,167	0,15	CSR<CRS

ON SITE	R _{tot}	HI _{tot}
Outdoor	$1,25 \times 10^{-10}$	$1,65 \times 10^{-6}$
Indoor	$1,89 \times 10^{-9}$	$2,37 \times 10^{-5}$

Il calcolo del Rischio sanitario sia in modalità diretta che inversa non ha evidenziato superamenti dei limiti. D'altra parte il calcolo del Rischio per la risorsa idrica ha evidenziato che le CSR non risultano verificate ovvero sono inferiori alle concentrazioni massime degli analiti ricercati (CSR<CRS).

Matrice suolo profondo – settore settentrionale sito

Tabella riepilogativa suolo profondo	
<i>Risk-net 3.1</i>	
Sorgenti di contaminazione primaria	<i>Attività svolta in sito interrimento scorie di fusione</i>
Sorgente di contaminazione secondaria	<i>Settore settentrionale del sito – SUOLO PROFONDO</i>
Contaminanti indice alla sorgente (utilizzo della massima concentrazione rilevata)	<i>Piombo=1500 mg/kg; Arsenico=64 mg/kg.</i>
Dimensione della sorgente	<i>Estensione circa 17.155 mq Estensione sorgente ortogonale \perp al flusso di falda (SW) – 170m Estensione sorgente parallelo// al flusso di falda (W) – 120m Spessore acquifero 5,00 m</i>
Potenziali meccanismi di trasporto	<i>Volatilizzazione di vapori dal suolo. Contaminazione in suolo profondo.</i>
Vie di esposizione attive	<i>Esposizione indiretta: inalazione on site di vapori provenienti dal suolo indoor e outdoor</i>
Bersagli/recettori	<i>Commerciale/industriale (bersaglio/recettore adulto lavoratore on site)</i>
DATI AMBIENTALI/CARATTERISTICHE del SITO	<i>precipitazioni media annua - 100,2 cm/a; direzione venti - da nord ovest velocità vento – 1,72 m/sec infiltrazione efficace calcolata – $I_{ef} = 0,0009 P^2$</i>
Parametri terreno e acquifero	<i>vedi tabelle (insaturo sandy loam – saturo sand)</i>
Parametri di esposizione	<i>(Linee guida APAT, default Risk-net 3.0 Pro)</i>
Criteri accettabilità rischio	<i>Rischio cancerogeno accettabile per singola sostanza 10^{-6} Rischio cancerogeno accettabile cumulativo 10^{-5} Indice di rischio accettabile relativo all'esposizione ad un singolo Agente tossico (Hazard Quotient - HQ) < 1 Indice di rischio accettabile cumulativo (Hazard Index - HI) < 1</i>
OBIETTIVI DELL'ANALISI DI RISCHIO	
Calcolo concentrazioni soglia di rischio (CSR)	



Dimensioni area sorgente (m)

S_w Estens. Sorg. Ortog. falda	W Estens. Sorg. in direz falda	S_w' Estens. Ortog. al vento	W' Estens. in direzione vento
170	120	161	140

MODELLO CONCETTUALE



Concentrazioni alla sorgente

Terreno e Falda		Suolo Profondo	
Contaminante	Concentrazione nel terreno		
	Selezionati	(mg/kg)	
Arsenico	<input checked="" type="checkbox"/>	64	
Piombo	<input checked="" type="checkbox"/>	11500	

parametri terreno ed acquifero

Geometria Sorgenti					
Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Geometria Sorgenti					
Definisci geometria sorgenti		<input checked="" type="checkbox"/> Stessa dimensione per tutte le sorgenti			
Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	W	45	120	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	Sw	45	45	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Altezza della zona di miscelazione in aria	δ_{air}	2	2	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W'	45	140	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale a quella del vento	Sw'	45	45	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Suolo Superficiale					
Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	Ls,SS	0	1	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Spessore della sorgente nel suolo superficiale insaturo	d	1	1	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Suolo Profondo					
Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	Ls,SP	1	1	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Spessore della sorgente nel suolo profondo insaturo	ds	2	1	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Falda					
Soggiacenza della falda da p.c.	Lgw	3	5,73	m	<input checked="" type="checkbox"/>

Zona Insatura					
Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Tessitura della Zona Insatura					
Seleziona la tessitura rappresentativa del suolo insaturo			Loamy Sand		
Porosità efficace del terreno in zona insatura	θ_e	Letteratura	0.353	-	<input checked="" type="checkbox"/>
Contenuto volumetrico di acqua nel suolo	θ_w	Letteratura	0.103	-	<input checked="" type="checkbox"/>
Contenuto volumetrico di aria nel suolo	θ_a	Letteratura	0.25	-	<input checked="" type="checkbox"/>
Contenuto volumetrico di acqua nella frangia capillare	$\theta_{w,cap}$	Letteratura	0.318	-	<input checked="" type="checkbox"/>
Contenuto volumetrico di aria nella frangia capillare	$\theta_{a,cap}$	Letteratura	0.035	-	<input checked="" type="checkbox"/>
Spessore della frangia capillare	h _{cap}	Letteratura	0.188	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Carico idraulico critico (potenziale di matrice)	h _{cr}	Letteratura	-0.0486	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Conducibilità idraulica del terreno nella zona insatura	K _{sat,s}	Letteratura	4.05e-5	m/s	<input checked="" type="checkbox"/>
Battente idrico in superficie	H _w	0.25	0,25	m	<input checked="" type="checkbox"/>

Caratteristiche della Zona Insatura					
Densità del suolo	ps	1.7	<input type="text" value="1,7"/>	g/cm ³	<input checked="" type="checkbox"/>
pH del suolo	pH	6.8	<input type="text" value="6,8"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>
Frazione di carbonio organico - suolo superficiale	foc,SS	0.01	<input type="text" value="0,01"/>	g/g	<input checked="" type="checkbox"/>
Frazione di carbonio organico - suolo profondo	foc,SP	0.01	<input type="text" value="0,01"/>	g/g	<input checked="" type="checkbox"/>
Frazione residua dei pori nel suolo (per calcolo Cres)	Sr	0.04	<input type="text" value="0,04"/>	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Spessore della zona insatura	hv	Calcolato	<input type="text" value="5.542"/>	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Infiltrazione nel sottosuolo					
Calcola l'infiltrazione efficace nel suolo			<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato		
Piuvosità media annua	P	129	<input type="text" value="100,2"/>	cm/y	<input checked="" type="checkbox"/>
Frazione areale di fratture outdoor	η_{out}	1	<input type="text" value="1"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>
Infiltrazione efficace nel suolo	lef	Calcolato	<input type="text" value="18.07"/>	cm/y	<input checked="" type="checkbox"/>
Telo in HDPE o strato a bassa permeabilità tra la sorgente e la falda (lisciviazione da suolo in falda)			<input type="checkbox"/> Inserisci		
Altri parametri intermedi					
Spessore della zona di miscelazione in falda	δ_{gw}	Calcolato	<input type="text" value="5.00"/>	m	no check
Fattore di diluizione in falda	LDF	Calcolato	<input type="text" value="7.00"/>	-	no check

Zona Saturata					
			<input checked="" type="checkbox"/> Default	<input type="checkbox"/> Copia tabella	<input type="checkbox"/> Help
Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Tessitura della Zona Saturata					
Seleziona la tessitura rappresentativa del suolo saturo			<input type="text" value="Sand"/>		
Conducibilità idraulica del terreno saturo	Ksat	Letteratura	<input type="text" value="8.25e-5"/>	m/s	<input checked="" type="checkbox"/>
Porosità efficace del terreno in zona saturo	$\theta_{e,sat}$	Letteratura	<input type="text" value="0.385"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>
Caratteristiche della Zona Saturata					
Spessore acquifero	da	2	<input type="text" value="5"/>	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Gradiente idraulico	i	0.01	<input type="text" value="0,01"/>	m/m	<input checked="" type="checkbox"/>
Velocità di Darcy	vgw	Calcolato	<input type="text" value="8.25e-7"/>	m/s	<input checked="" type="checkbox"/>
Velocità media effettiva nella falda	ve	Calcolato	<input type="text" value="2.14e-6"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>
Frazione di carbonio organico - suolo saturo	foc,sat	0.001	<input type="text" value="0,001"/>	g/g	<input checked="" type="checkbox"/>
Frazione residua dei pori nel suolo saturo (per calcolo Cres)	Sr	0.04	<input type="text" value="0,04"/>	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Trasporto e dispersione in falda					
Distanza punto di conformità in falda	POC	100	<input type="text" value="100"/>	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Calcola automaticamente coefficienti di dispersione in falda			<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato		
Dispersione longitudinale in falda	ax	Calcolato	<input type="text" value="10.00"/>	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Dispersione trasversale in falda	ay	Calcolato	<input type="text" value="3.33"/>	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Dispersione verticale in falda	az	Calcolato	<input type="text" value="0.50"/>	m	<input checked="" type="checkbox"/>

Parametri ambientali

Outdoor					
Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Dati Meteo					
Velocità del vento	Uair	2.25	1,72	m/s	✓
Calcola velocità del vento			<input type="checkbox"/> Calcolato		
Portata di particolato per unità di superficie	Pe	6.9e-14	6.9e-14	g/cm/s ²	✓
Dispersione in atmosfera					
Distanza recettore off site - ADF	POC ADF	100	100	m	✓
Classe di Stabilità Atmosferica			Urbano - Classe A-B ▼		
Coefficiente di dispersione trasversale	σ_y	Calcolato	31.38	m	✓
Coefficiente di dispersione verticale	σ_z	Calcolato	23.88	m	✓
Profondità della zona aerobica da p.c.	La Outdoor	1	1	m	✓

Indoor					
Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
Caratteristiche edificio on-site					
Profondità delle fondazioni da p.c.	Z crack	0.15	0,15	m	✓
Spessore delle fondazioni	L crack	0.15	0,15	m	✓
Frazione areale di fratture indoor	η	0.01	0,01	m ² /m ²	✓
Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione	Lb	3	3	m	✓
Contenuto volumetrico di acqua nelle fondazioni	$\theta_{w,crack}$	0.12	0,12	-	✓
Contenuto volumetrico di aria nelle fondazioni	$\theta_{a,crack}$	0.26	0,26	-	✓
Tasso di ricambio di aria indoor	ER	0.00023	0,00023	1/s	✓
Differenza di pressione tra outdoor e indoor	Δp	0	0	g/cm/s ²	no check
Flusso convettivo entrante nell'edificio	<input type="checkbox"/> Inserisci valore sito-specifico				
Superficie totale coinvolta nell'infiltrazione	Ab	70	70	m ²	✓
Permeabilità del suolo al flusso di vapore*	Kv	1e-12	1e-12	m ²	✓
Perimetro delle fondazioni/muri	x crack	34	34	m	✓
Viscosità del vapore	μ_{air}	0.000181	0,000181	g/cm/s	✓
Flusso convettivo entrante nell'edificio	Qs	Calcolato	0.00e+0	L/min	✓
Profondità della zona aerobica dalle fondazioni	La Indoor	1	1	m	✓
* Le linee guida ISPRA suggeriscono di usare dei dati di Kv tra 1E-10 m ² e 1E-11 m ² per le sabbie medie, tra 1E-11 m ² e 1E-12 m ² per le sabbie fini, tra 1E-12 m ² e 1E-13 m ² per i limi e tra 1E-13 m ² e 1E-14 m ² per le argille.					

Il calcolo diretto del Rischio sanitario presenta valori al di sotto dei limiti per gli analiti ricercati. Per il rischio risorsa idrica invece si ha superamento del limite per tutti gli analiti.

Contaminanti	CRS (mg/kg)	CSC (mg/kg)	Rischio cancerogeno	Indice di Pericolo (HI)	RGW Rischio risorsa idrica
Arsenico	64	50	-	-	6,65
Piombo	11500	1000	-	-	38,6

I risultati dell'analisi di rischio in modalità inversa per la determinazione delle CSR (concentrazione soglia di rischio-obiettivo di bonifica) così come previsto dall'art. 242 e allegato 1 del Dlgs 152/06 e s.m.i. evidenzia:

ONSITE:

Contaminanti	CRS (mg/kg)	CSR vapori outdoor (mg/kg)	note
Arsenico	64	-	-
Piombo	11500	-	-

Contaminanti	CRS (mg/kg)	CSR vapori indoor (mg/kg)	note
Arsenico	64	-	-
Piombo	11500	-	-

Contaminanti	CRS (mg/kg)	CSR lisciviazione (mg/kg)	note
Arsenico	64	9,62	CSR < CRS
Piombo	11500	298	CSR < CRS

Sia in modalità diretta che in modalità inversa, il rischio calcolato evidenzia la sola criticità per la risorsa idrica correlata alla lisciviazione del suolo.

11. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente documento riporta i risultati dell'analisi di rischio sanitario ambientale, elaborata a seguito della definizione del modello concettuale del sito, costruito sulla base delle risultanze della campagna di caratterizzazione ambientale effettuata.

L'AdR elaborata ha evidenziato, sia per la matrice acqua sotterranea che per il suolo profondo (>1 m) l'assenza di rischi sanitari per un bersaglio adulto lavoratore.

Per la matrice acqua sotterranea sia superficiale sia profonda è evidente che le concentrazioni residue ammissibili, ovvero le CSR calcolate, sono al di sotto delle concentrazioni alla sorgente (CRS) per i parametri di seguito riportati nelle tabelle, per la protezione della risorsa idrica.

FALDA SUPERFICIALE			
Contaminanti	CRS (µg/l)	CSR protezione risorsa idrica (µg/l)	note
Manganese	318	50	CSR < CRS

FALDA PROFONDA			
Contaminanti	CRS (µg/l)	CSR protezione risorsa idrica (µg/l)	note
Arsenico	17	10	CSR < CRS
Ferro	9370	200	CSR < CRS
Manganese	1300	50	CSR < CRS
CVM	2,68	0,5	CSR < CRS
1,1Dicloroetilene	0,171	0,05	CSR < CRS
1,2Dicloropropano	0,167	0,15	CSR < CRS

Sempre per la protezione della risorsa idrica, per il suolo profondo, non risultano verificate le condizioni CRS<CSR per i seguenti analiti:

SUOLO PROFONDO

<i>Contaminanti</i>	<i>CRS (mg/kg)</i>	<i>CSR lisciviazione (mg/kg)</i>	<i>note</i>
Arsenico	64	9,62	CSR<CRS
Piombo	11500	298	CSR<CRS

Sono state effettuate, inoltre, le verifiche al punto di conformità (*il punto di conformità per le acque sotterranee [...] in attuazione del principio generale di precauzione [...] deve essere di norma fissato non oltre i confini del sito contaminato oggetto di bonifica e la relativa CSR per ciascun contaminante deve essere fissata equivalente alle CSC [...]*), identificato quale punto posto a valle idrogeologico al confine del sito. Per la falda profonda, al punto di conformità, rappresentato nel caso specifico dai piezometri denominati S2, S1 e SXP3, non viene verificata la norma che prevede che la relativa CSR per ciascun contaminante deve essere fissata equivalente alla CSC, infatti si rilevano superamenti per Ferro, Manganese, Cloruro di Vinile Monomero, 1,1Dicloroetilene e 1,2Dicloropropano. Per la falda superficiale, al punto di conformità rappresentato dal piezometro denominato SX4, non viene verificata la norma che prevede che la relativa CSR per ciascun contaminante deve essere fissata equivalente alla CSC, infatti si rilevano superamenti per il parametro Manganese. Si rappresenta inoltre, che le analisi effettuate su n. 3 campioni di terreno ai fini della verifica del test di cessione sull'eluato con le modalità del D.M. 05.02.1998 ed il confronto dei risultati con le CSC di cui alla Tab. 2 dell'Allegato 5 alla Parte IV del D. Lgs. 152/2006, hanno evidenziato valori oltre le CSC per l'Antimonio ed i Fluoruri nel punto SXP4 e per il solo Antimonio in SXP5. Entrambi i campioni presentavano scorie di fusione miste a terreno. Alla luce dei risultati dell'analisi di rischio, si ritiene necessario adeguare la messa in sicurezza del sito. Per la falda profonda, si precisa che nel sito è già operativo, dal 2013, un impianto di trattamento delle acque a carboni attivi che emunge le acque del sottosuolo attraverso pozzi posti nel settore nord del sito stesso, nel settore di valle idrogeologico. Vista la ricostruzione delle geometrie della falda freatica profonda, sarebbe opportuno implementare il sistema di captazione delle acque stesse, mediante un ulteriore punto di emungimento posto nel settore SW del sito nei pressi del piezometro SXP3, anch'esso di valle idrogeologico.

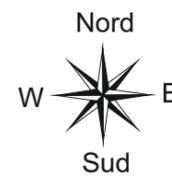
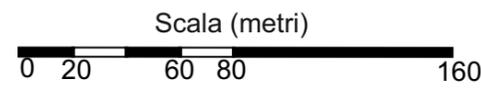
Dott. geol. Massimo Ranieri

UBICAZIONE NUOVI PIEZOMERI



LEGENDA

- Sondaggi attrezzati a piezometro per lo studio della falda superficiale
- Sondaggi attrezzati a piezometro per lo studio della falda profonda



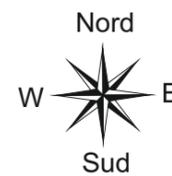
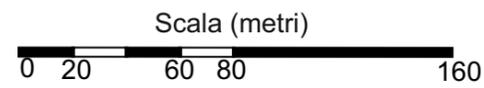
Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006				
Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale				
Sito: Via Penne - Zona Ind.le				
Progettista: Dott. Geol. Massimo Ranieri				
Tav. n.	Oggetto			Scala
1	Carta delle indagini			Grafica
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00

UBICAZIONE PUNTI DI MONITORAGGIO SOIL GAS



LEGENDA

 Stazioni di misura soil gas



Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006

Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale

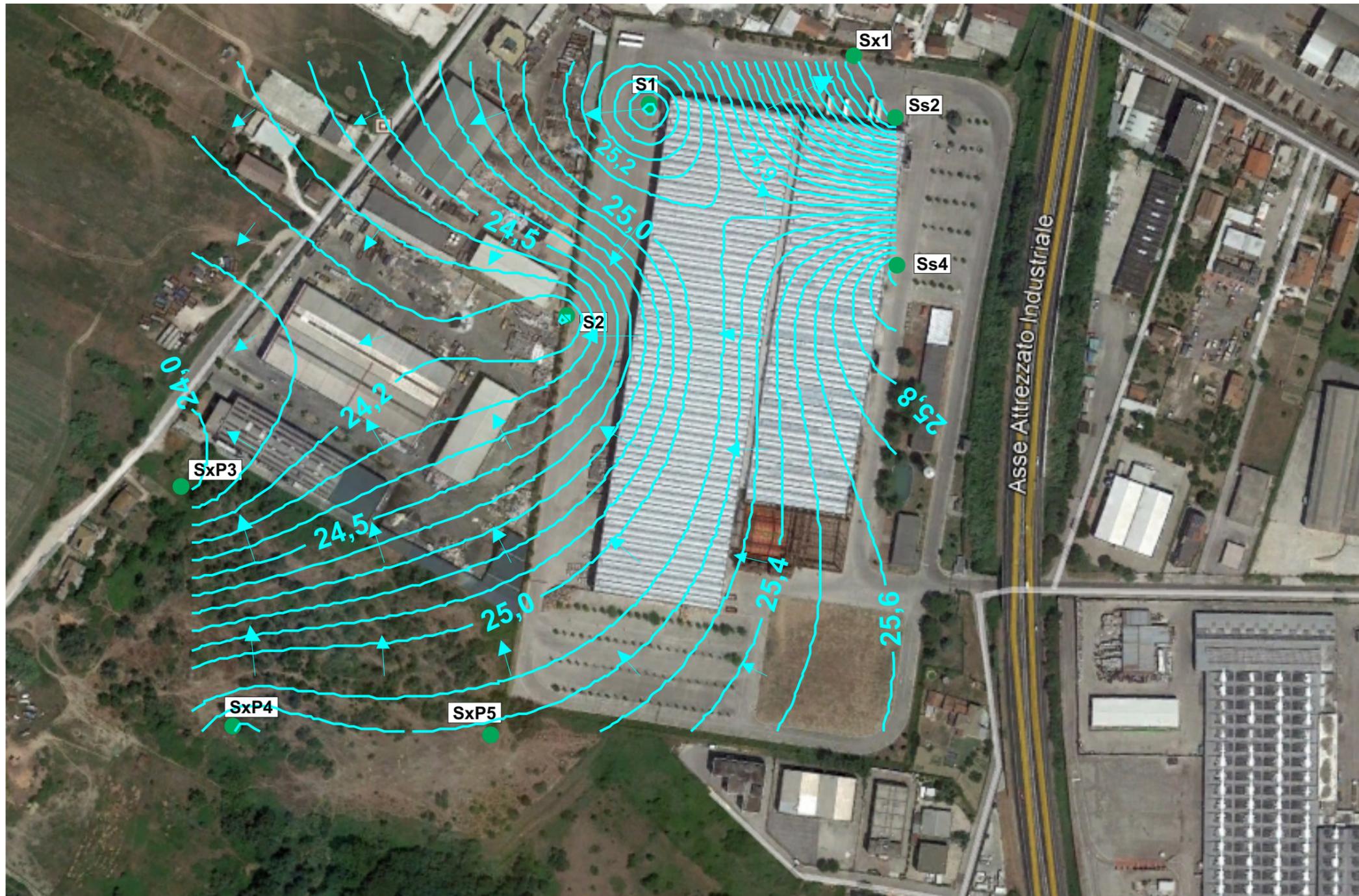
Sito: Via Penne - Zona Ind.le

Progettista:

Dott. Geol. Massimo Ranieri

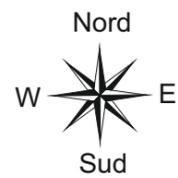
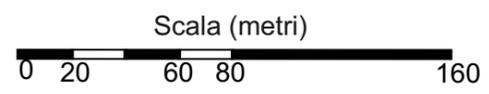
Tav. n.	Oggetto	Scala		
22	Stazioni di misura soil gas	Grafica		
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00

TAVOLE PIEZOMETRIE

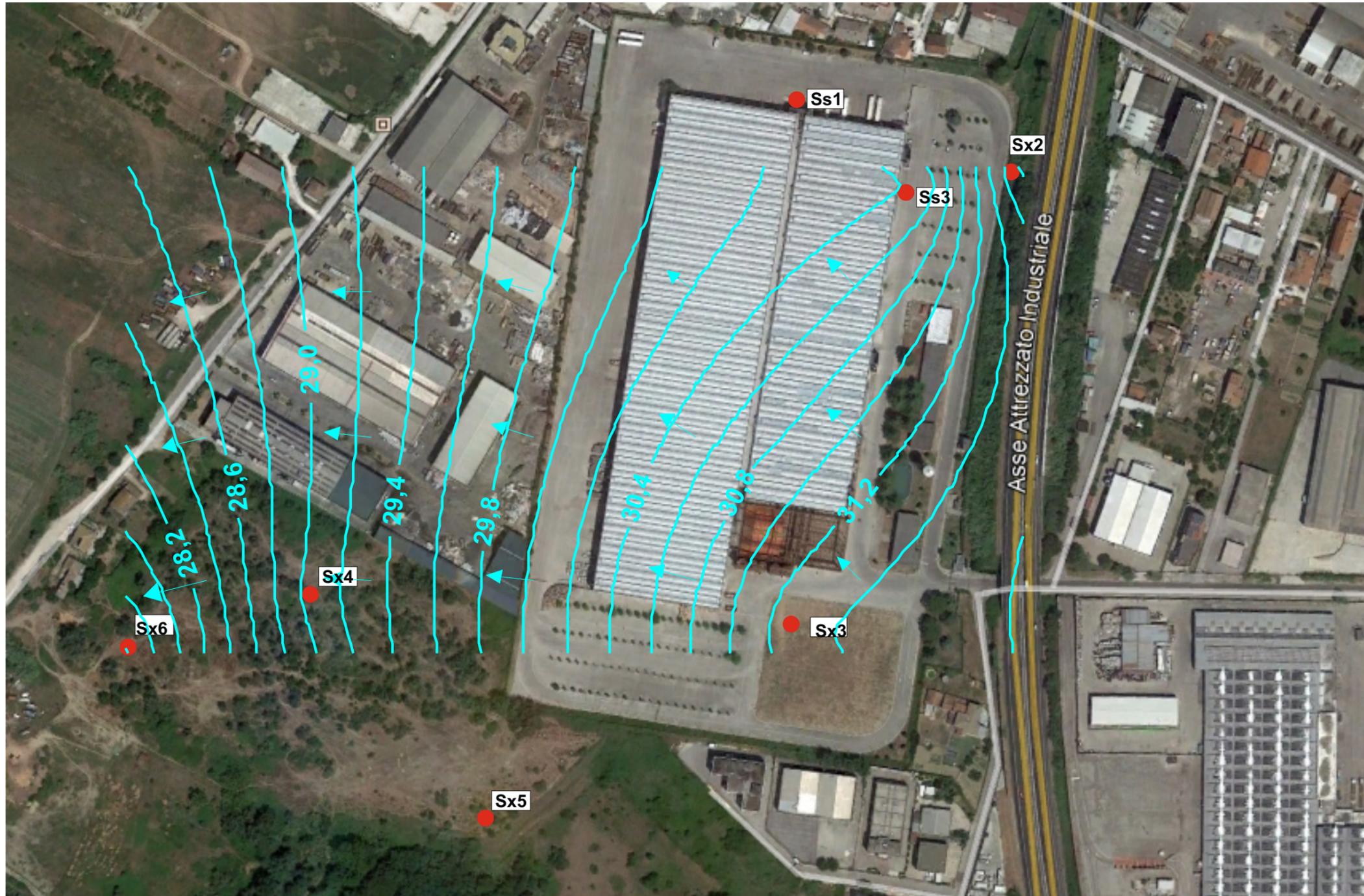


LEGENDA

-  Curve isopiezometriche
-  Direzione di flusso della falda

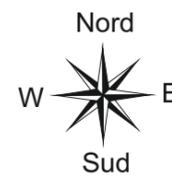
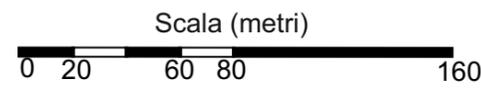


Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006				
Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale				
Sito: Via Penne - Zona Ind.le				
Progettista: Dott. Geol. Massimo Ranieri				
Tav. n.	Oggetto			Scala
2	Carta isopieze falda profonda			Grafica
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00



LEGENDA

-  Curve isopiezometriche
-  Direzione di flusso della falda



Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006

Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale

Sito: Via Penne - Zona Ind.le

Progettista:

Dott. Geol. Massimo Ranieri

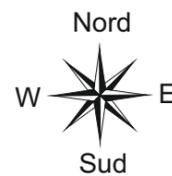
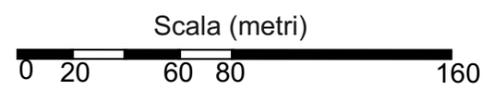
Tav. n.	Oggetto	Scala		
3	Carta delle isopieze falda superficiale	Grafica		
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00

TAVOLE ISOCONE DIVERSI ANALITI



LEGENDA

-  Isocone > CSC
-  Isocone CSC
-  Isocone < CSC



Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006

Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale

Sito: Via Penne - Zona Ind.le

Progettista:

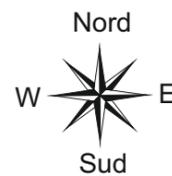
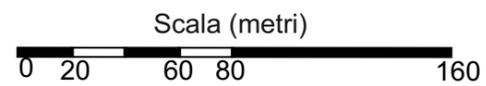
Dott. Geol. Massimo Ranieri

Tav. n.	Oggetto	Scala		
4	Isocone del Ferro espresse in µg/l in falda profonda	Grafica		
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00



LEGENDA

-  Isocone > CSC
-  Isocone CSC
-  Isocone < CSC



Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006

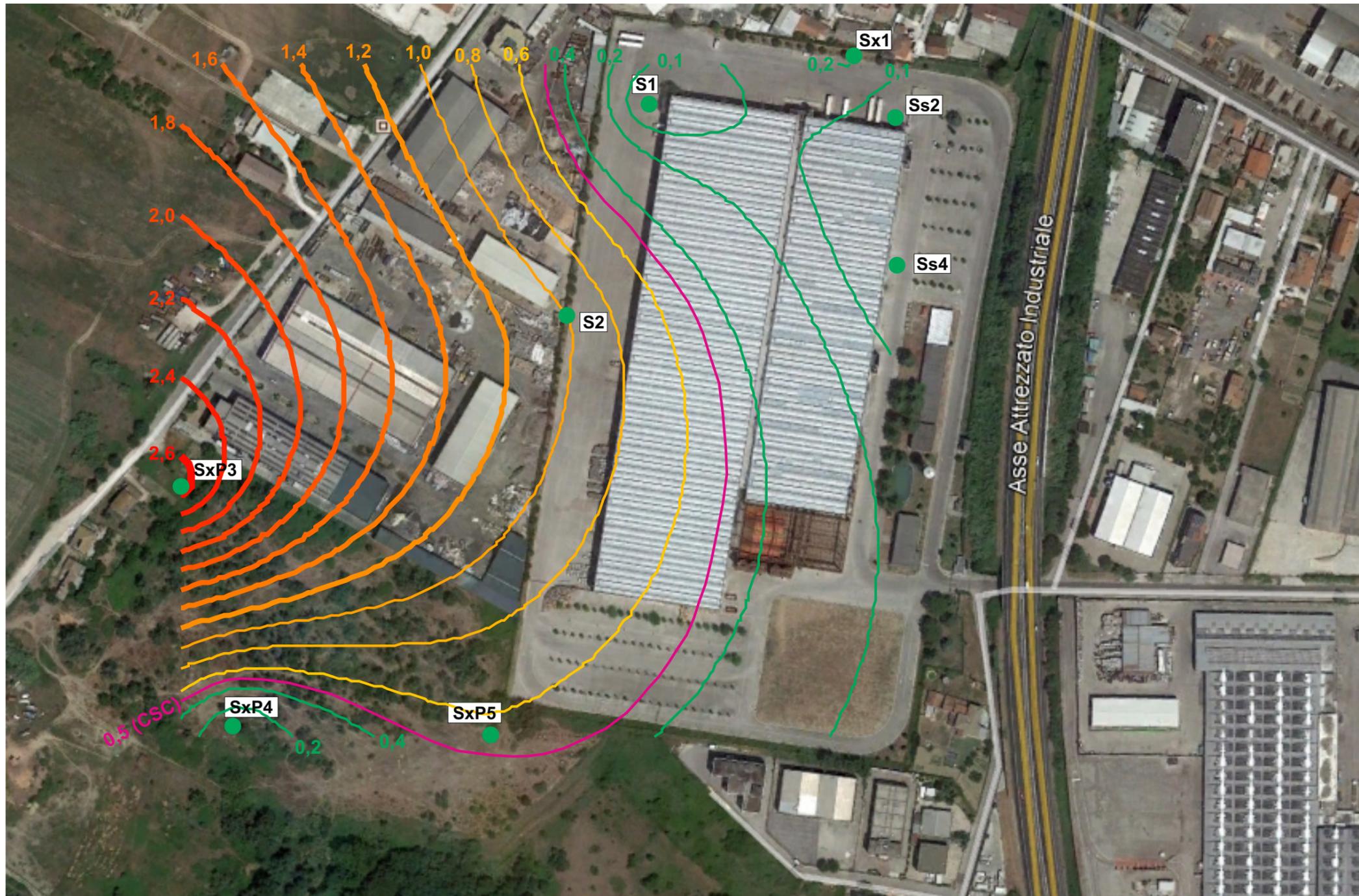
Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale

Sito: Via Penne - Zona Ind.le

Progettista:

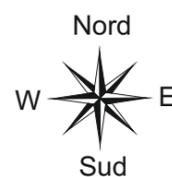
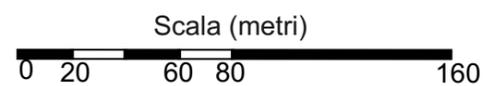
Dott. Geol. Massimo Ranieri

Tav. n.	Oggetto	Scala		
5	Isocone del Manganese espresse in µg/l in falda profonda	Grafica		
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00



LEGENDA

- Isocone > CSC
- Isocone CSC
- Isocone < CSC



Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006

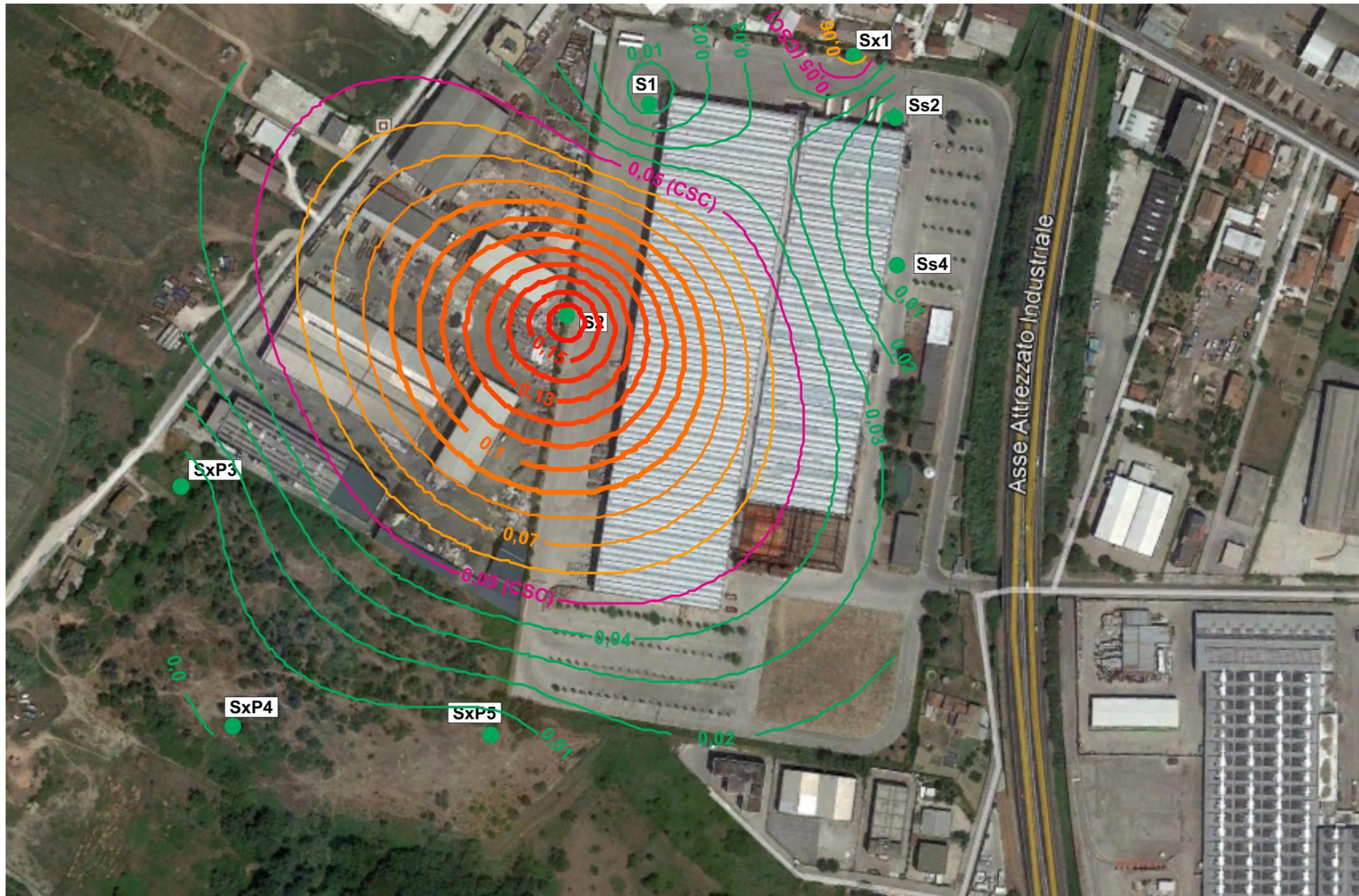
Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale

Sito: Via Penne - Zona Ind.le

Progettista:

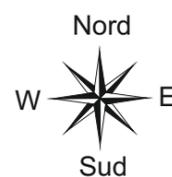
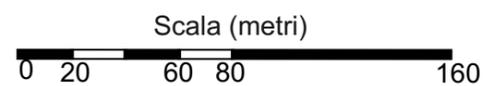
Dott. Geol. Massimo Ranieri

Tav. n.	Oggetto	Scala		
6	Isocone del Cloruro di Vinile espresse in µg/l in falda profonda	Grafica		
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00



LEGENDA

-  Isocone > CSC
-  Isocone CSC
-  Isocone < CSC



Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006

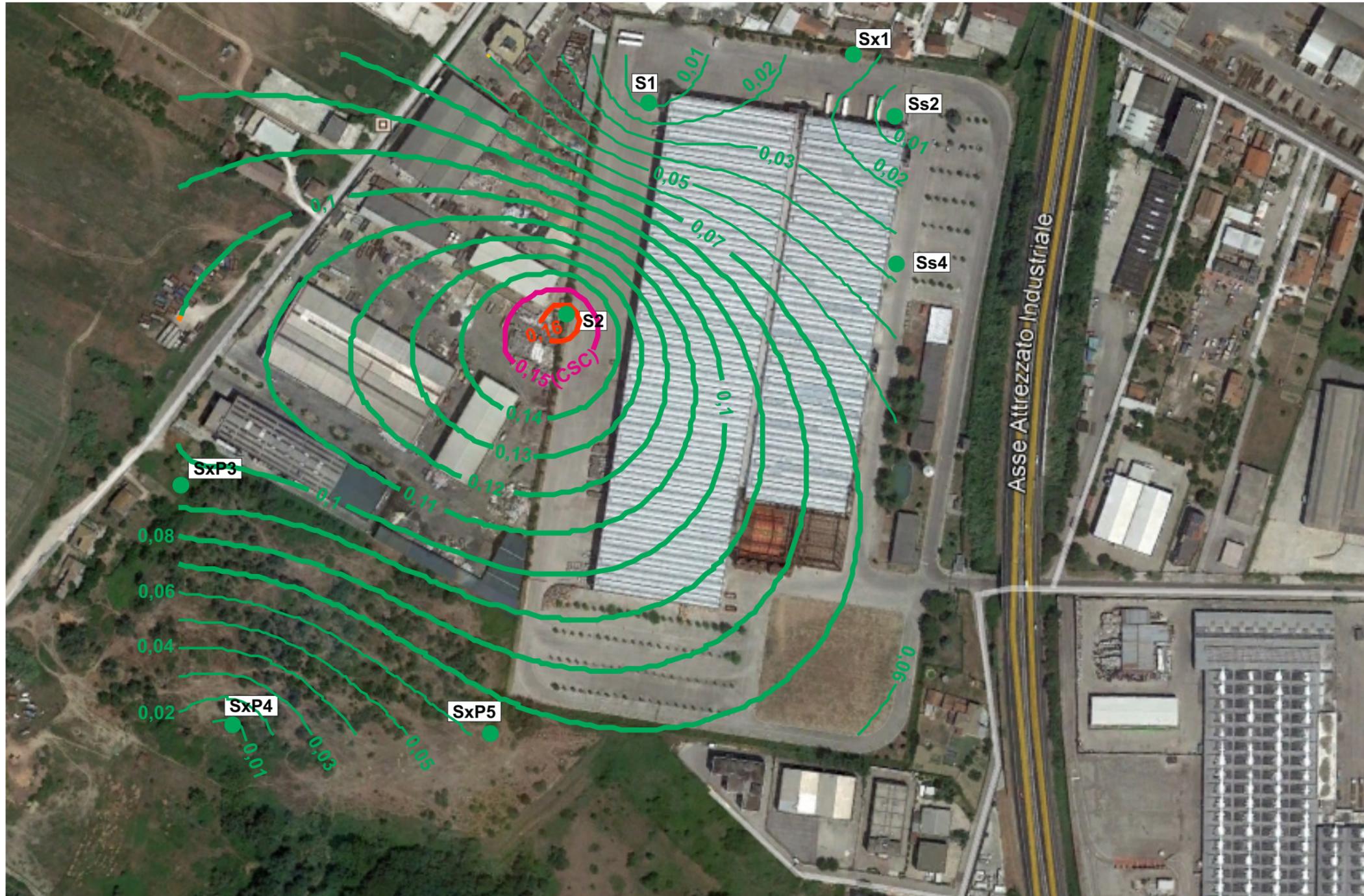
Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale

Sito: Via Penne - Zona Ind.le

Progettista:

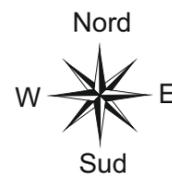
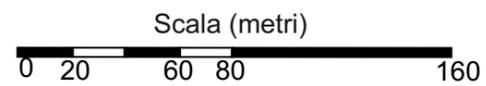
Dott. Geol. Massimo Ranieri

Tav. n.	Oggetto	Scala		
7	Isocone del 1,1dicloroetilene espresse in µg/l in falda profonda	Grafica		
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00



LEGENDA

-  Isocone > CSC
-  Isocone CSC
-  Isocone < CSC



Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006

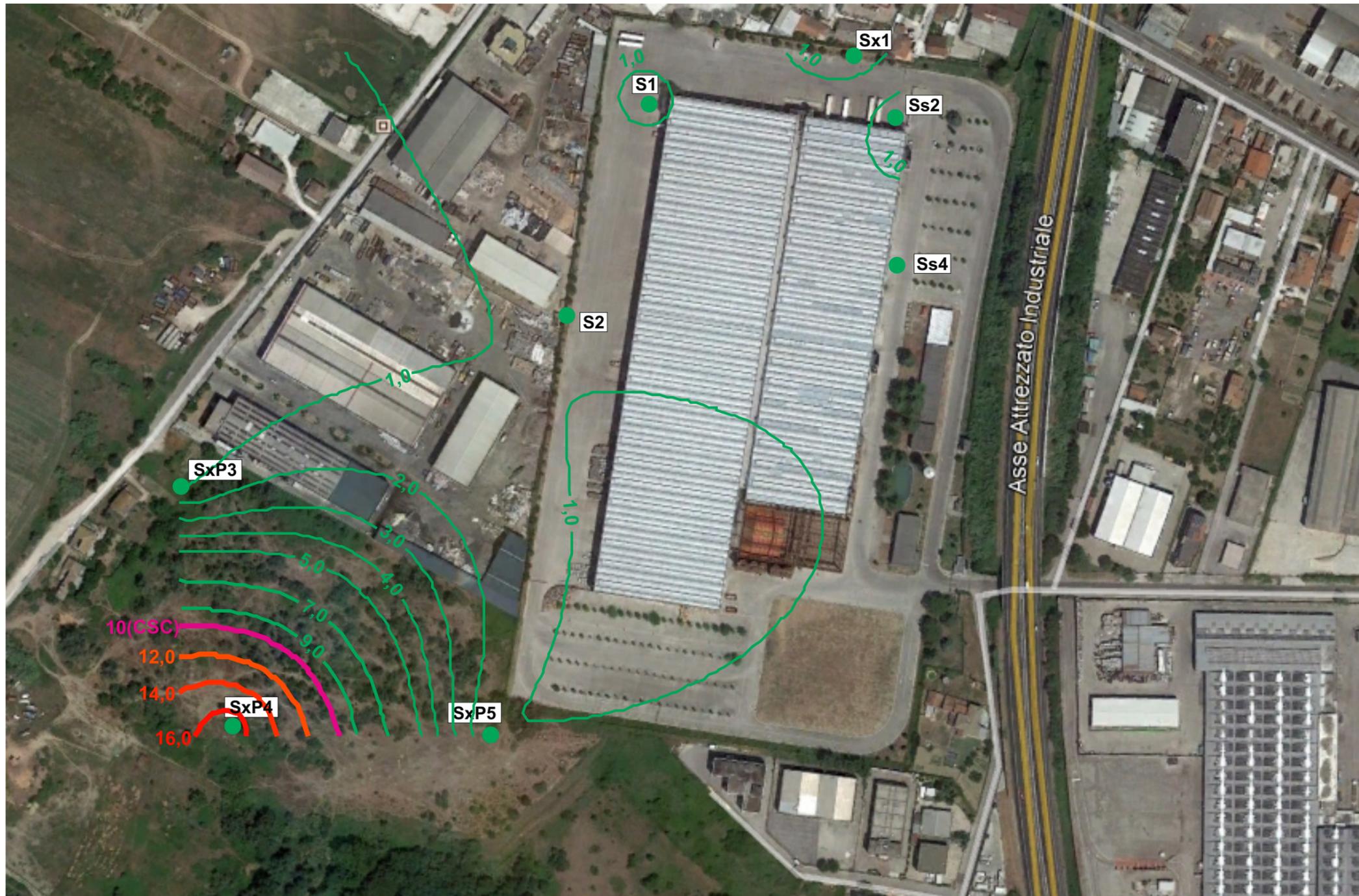
Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale

Sito: Via Penne - Zona Ind.le

Progettista:

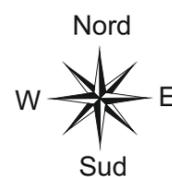
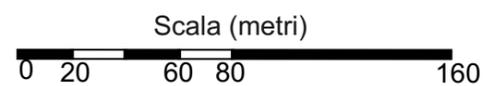
Dott. Geol. Massimo Ranieri

Tav. n.	Oggetto	Scala		
8	Isocone del 1,2dicloropropano espresse in µg/l in falda profonda	Grafica		
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00



LEGENDA

- Isocone > CSC
- Isocone CSC
- Isocone < CSC



Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006

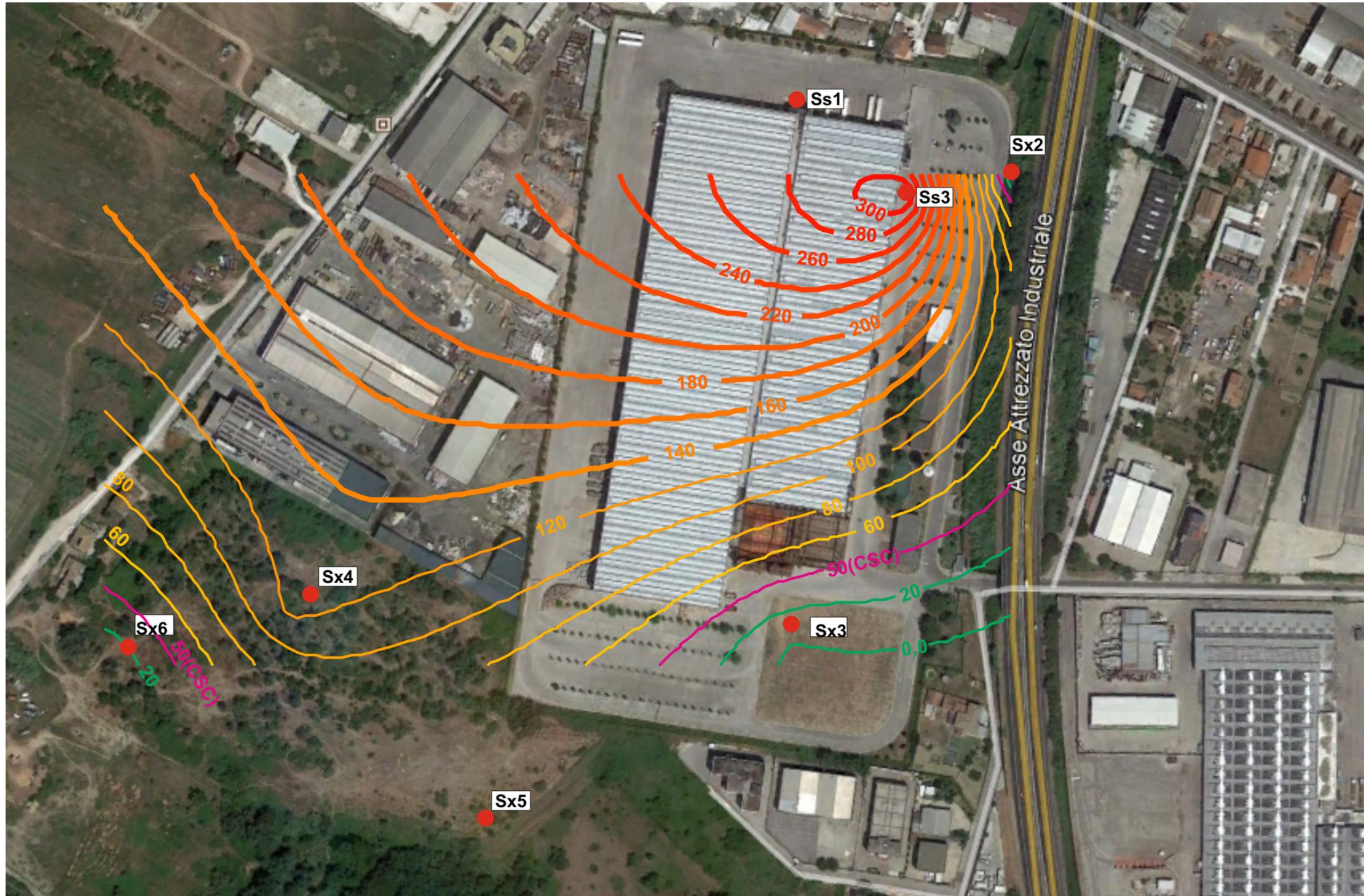
Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale

Sito: Via Penne - Zona Ind.le

Progettista:

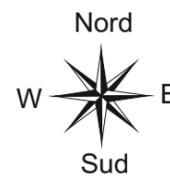
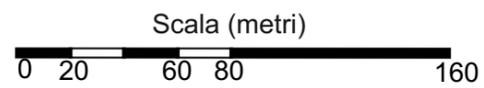
Dott. Geol. Massimo Ranieri

Tav. n.	Oggetto	Scala		
9	Isocone dell'Arsenico espresse in $\mu\text{g/l}$ in falda profonda	Grafica		
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00



LEGENDA

-  Isocone > CSC
-  Isocone CSC
-  Isocone < CSC



Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006

Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale

Sito: Via Penne - Zona Ind.le

Progettista:

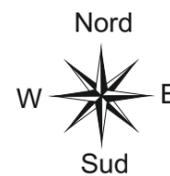
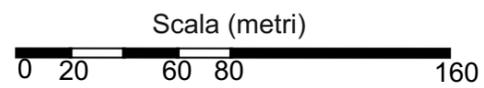
Dott. Geol. Massimo Ranieri

Tav. n.	Oggetto	Scala		
10	Isocone del Manganese espresse in µg/l in falda superficiale	Grafica		
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00



LEGENDA

- Piezometri per il monitoraggio della falda superficiale
- ⬮ Perimetro del sito di studio
- Direzione principale del vento
- Direzione di deflusso della falda superficiale



Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006

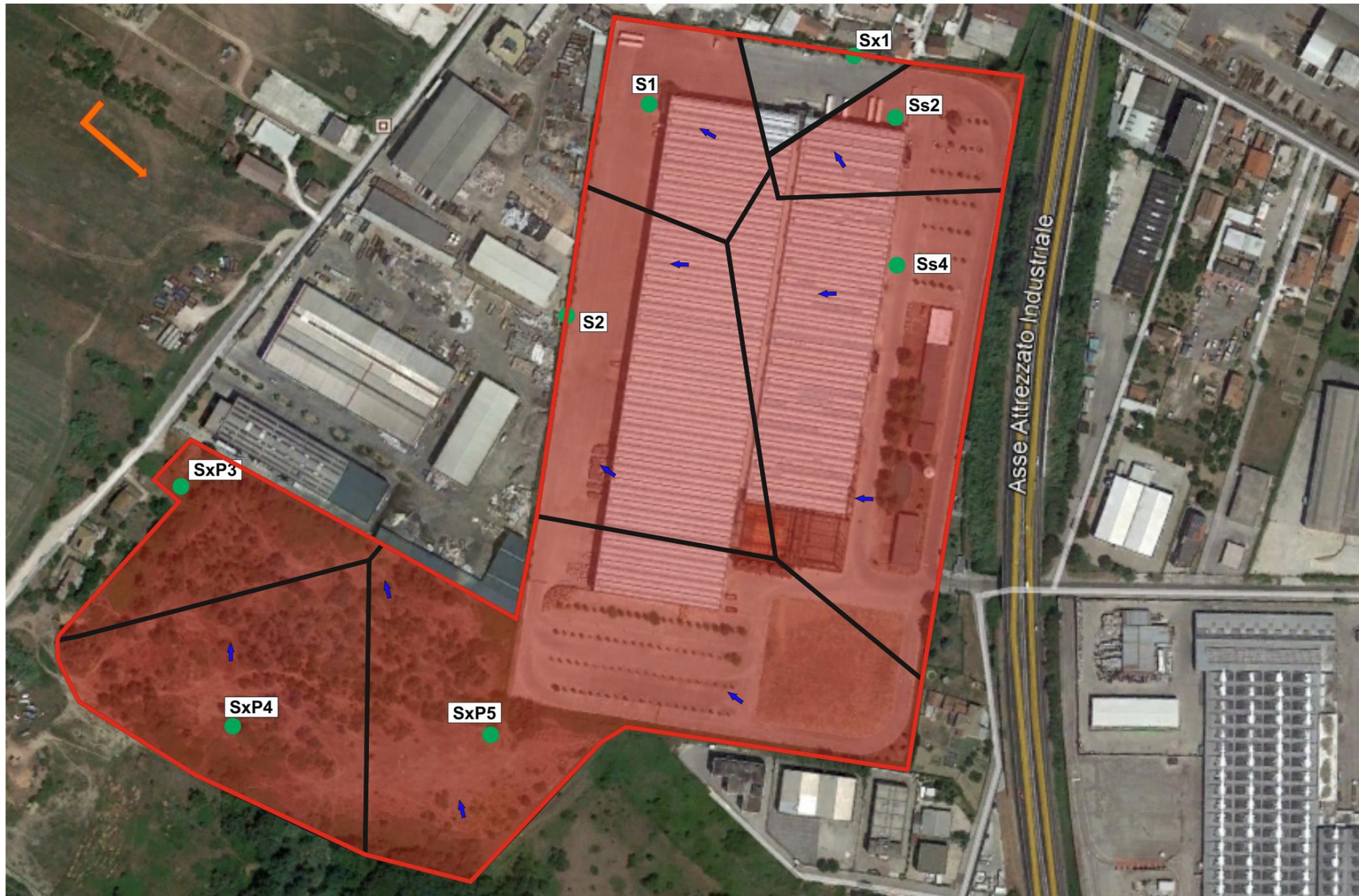
Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale

Sito: Via Penne - Zona Ind.le

Progettista:

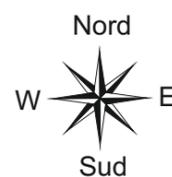
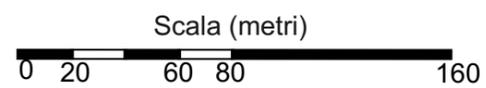
Dott. Geol. Massimo Ranieri

Tav. n.	Oggetto	Scala		
11	Area sorgente del Manganese in falda superficiale	Grafica		
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00



LEGENDA

- Piezometri per il monitoraggio della falda profonda
- ▭ Perimetro del sito di studio
- ↖ Direzione principale del vento
- ➔ Direzione di deflusso della falda profonda



Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006

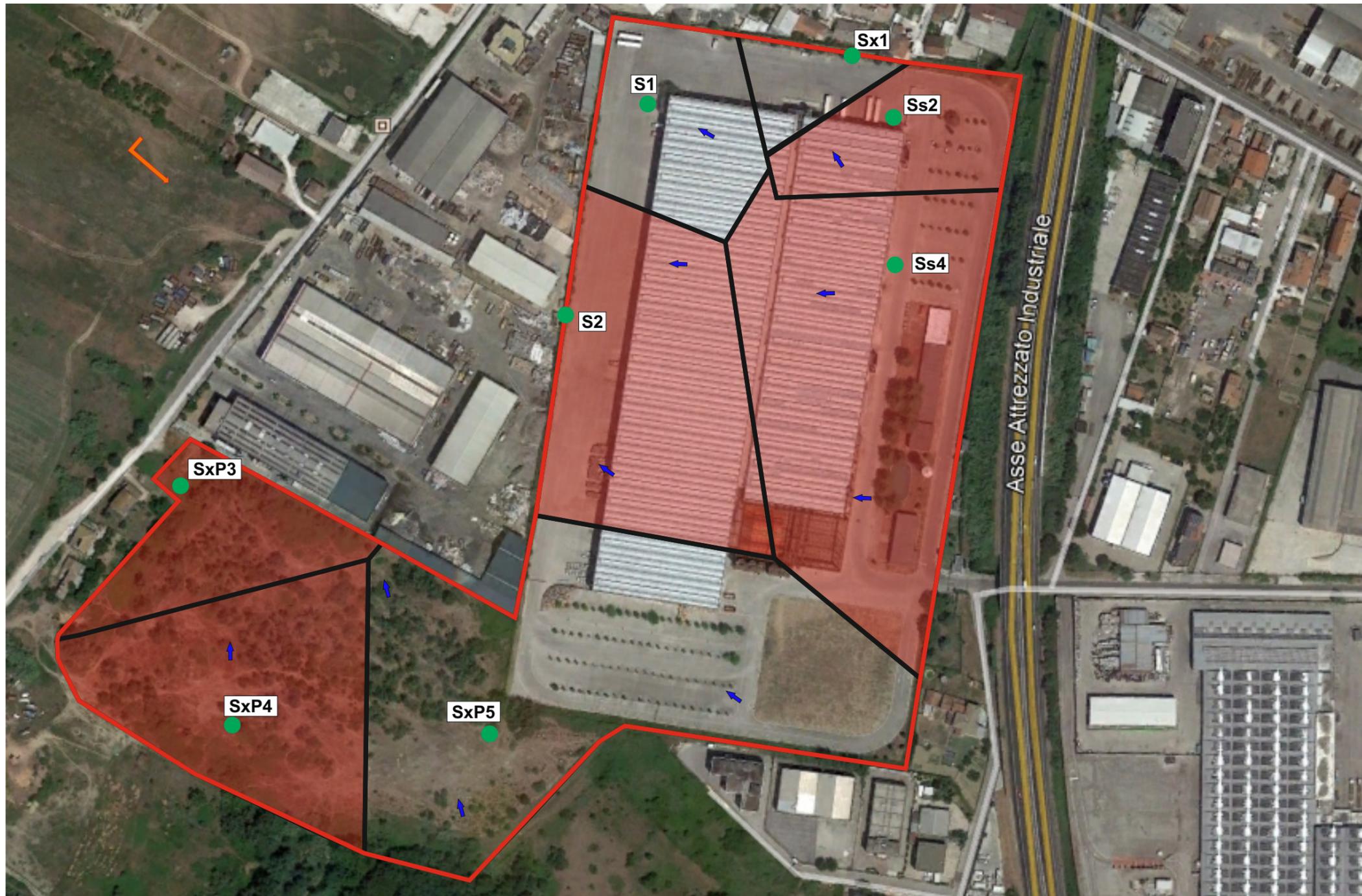
Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale

Sito: Via Penne - Zona Ind.le

Progettista:

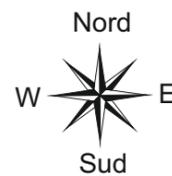
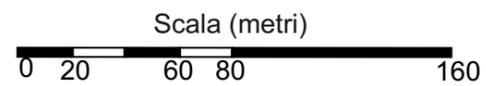
Dott. Geol. Massimo Ranieri

Tav. n.	Oggetto	Scala		
12	Area sorgente Manganese in falda profonda	Grafica		
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00



LEGENDA

- Piezometri per il monitoraggio della falda profonda
- ▭ Perimetro del sito di studio
- ↖ Direzione principale del vento
- ➔ Direzione di deflusso della falda profonda



Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006

Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale

Sito: Via Penne - Zona Ind.le

Progettista:

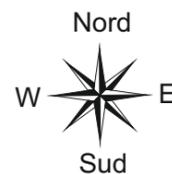
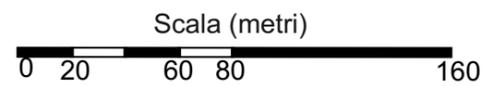
Dott. Geol. Massimo Ranieri

Tav. n.	Oggetto	Scala		
13	Area sorgente Ferro in falda profonda	Grafica		
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00



LEGENDA

- Piezometri per il monitoraggio della falda profonda
- ▭ Perimetro del sito di studio
- ↖ Direzione principale del vento
- ➔ Direzione di deflusso della falda profonda



Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006

Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale

Sito: Via Penne - Zona Ind.le

Progettista:

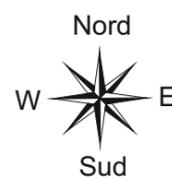
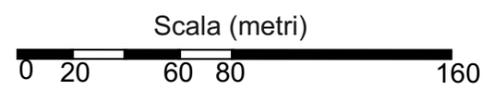
Dott. Geol. Massimo Ranieri

Tav. n.	Oggetto	Scala		
14	Area sorgente Cloruro di vinile in falda profonda	Grafica		
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00



LEGENDA

- Piezometri per il monitoraggio della falda profonda
- ⬮ Perimetro del sito di studio
- ↖ Direzione principale del vento
- ➔ Direzione di deflusso della falda profonda



Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006

Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale

Sito: Via Penne - Zona Ind.le

Progettista:

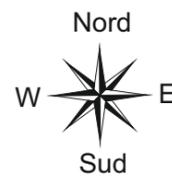
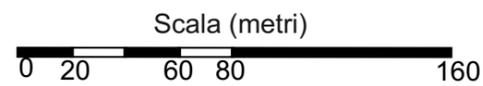
Dott. Geol. Massimo Ranieri

Tav. n.	Oggetto	Scala		
15	Area sorgente Arsenico in falda profonda	Grafica		
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00



LEGENDA

- Piezometri per il monitoraggio della falda profonda
- ⬮ Perimetro del sito di studio
- ↖ Direzione principale del vento
- ➔ Direzione di deflusso della falda profonda



Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006

Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale

Sito: Via Penne - Zona Ind.le

Progettista:

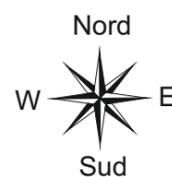
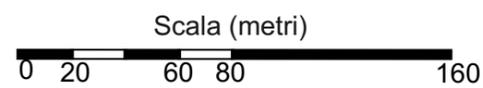
Dott. Geol. Massimo Ranieri

Tav. n.	Oggetto	Scala		
16	Area sorgente 1,2Dicloropropano in falda profonda	Grafica		
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00



LEGENDA

- Piezometri per il monitoraggio della falda profonda
- ⬮ Perimetro del sito di studio
- ↖ Direzione principale del vento
- ➔ Direzione di deflusso della falda profonda



Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006

Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale

Sito: Via Penne - Zona Ind.le

Progettista:

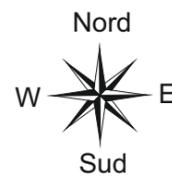
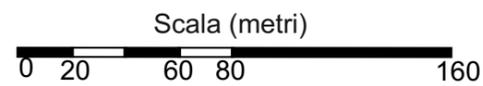
Dott. Geol. Massimo Ranieri

Tav. n.	Oggetto	Scala		
17	Area sorgente 1,1Dicloroetilene in falda profonda	Grafica		
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00



LEGENDA

- Piezometri di nuova realizzazione
- ⬮ Perimetro del sito di studio
- ↖ Direzione principale del vento
- ➔ Direzione di deflusso della falda profonda



Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006

Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale

Sito: Via Penne - Zona Ind.le

Progettista:

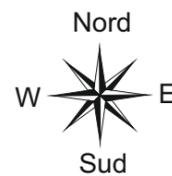
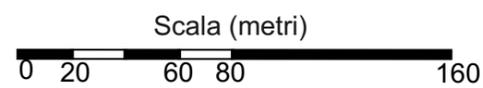
Dott. Geol. Massimo Ranieri

Tav. n.	Oggetto	Scala		
18	Area sorgente Arsenico terreno profondo	Grafica		
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00



LEGENDA

- Piezometri di nuova realizzazione
- ⬮ Perimetro del sito di studio
- ↖ Direzione principale del vento
- ➔ Direzione di deflusso della falda profonda



Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006

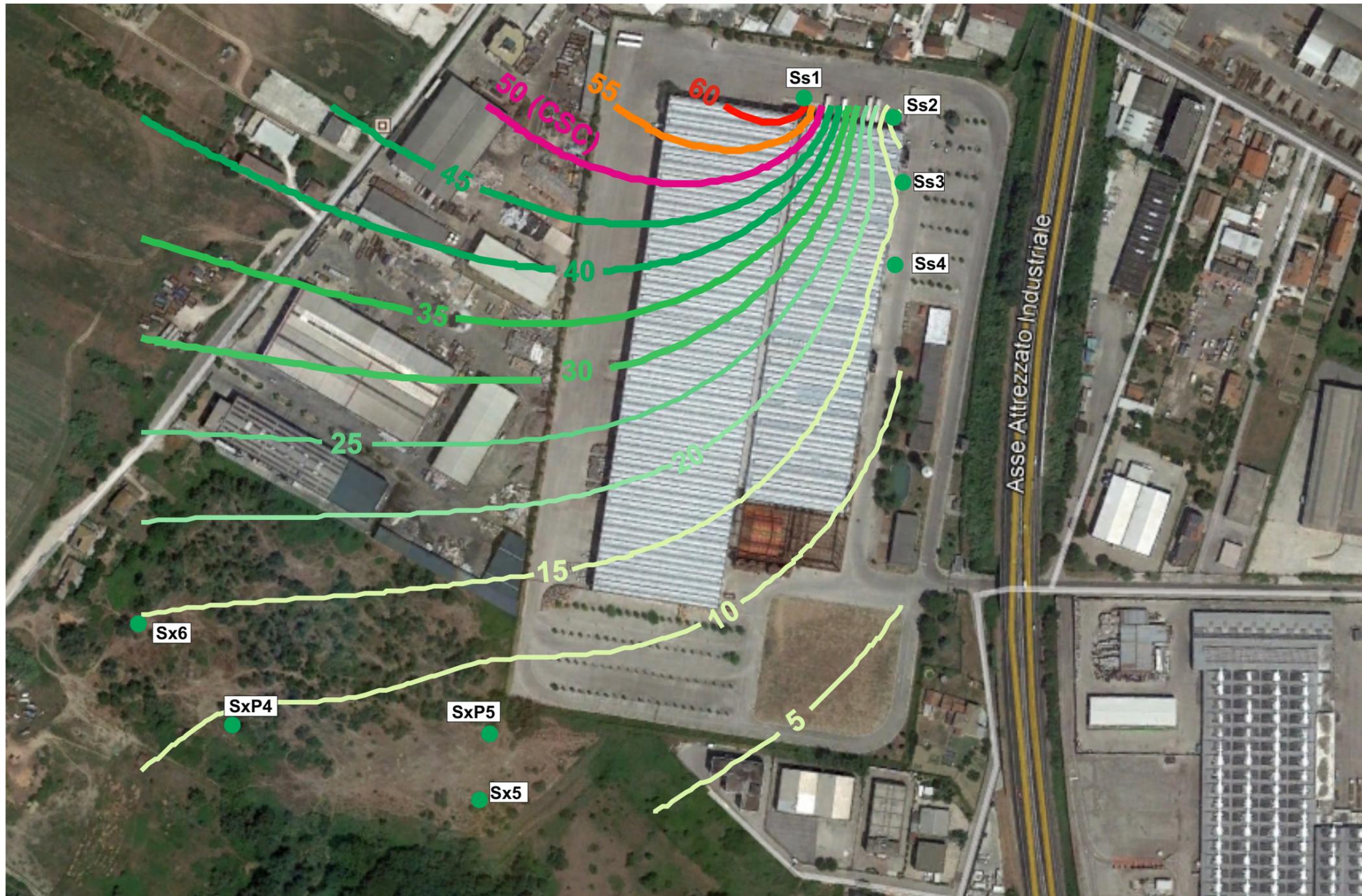
Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale

Sito: Via Penne - Zona Ind.le

Progettista:

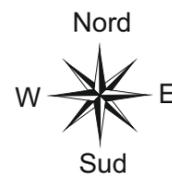
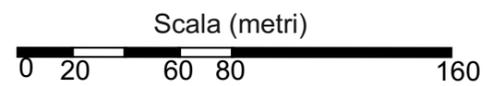
Dott. Geol. Massimo Ranieri

Tav. n.	Oggetto	Scala		
19	Area sorgente Piombo terreno profondo	Grafica		
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00



LEGENDA

-  Isocone > CSC
-  Isocone CSC
-  Isocone < CSC



Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006

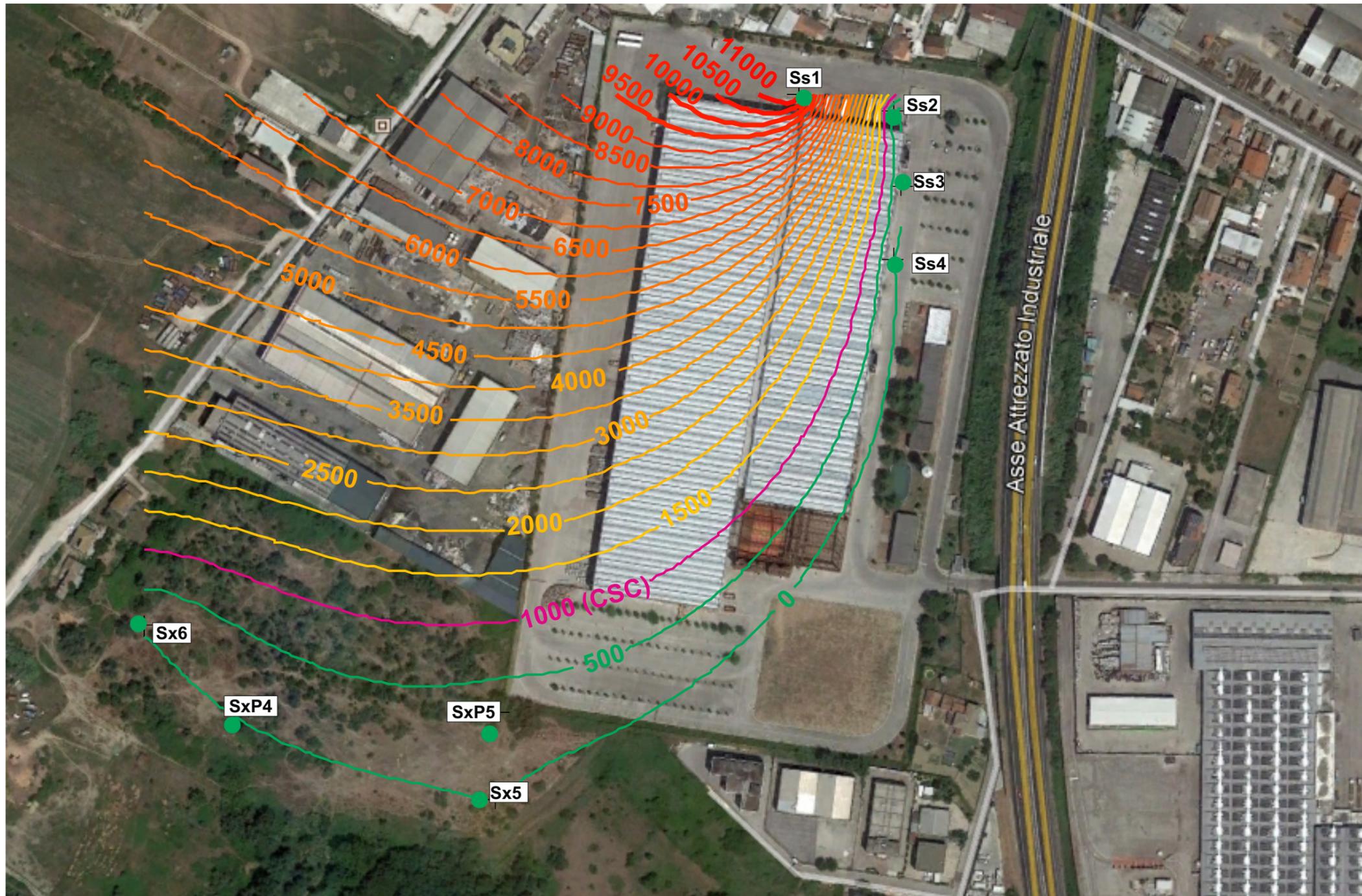
Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale

Sito: Via Penne - Zona Ind.le

Progettista:

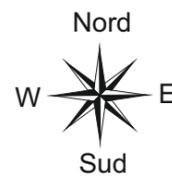
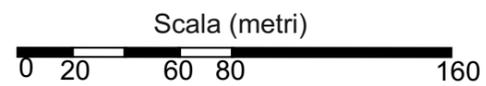
Dott. Geol. Massimo Ranieri

Tav. n.	Oggetto	Scala		
20	Isocone Arsenico terreno profondo	Grafica		
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00



LEGENDA

-  Isocone > CSC
-  Isocone CSC
-  Isocone < CSC



Piano di Caratterizzazione Ambientale - D.Lgs. 152/2006

Committente: SIXTY Log Srl Unipersonale

Sito: Via Penne - Zona Ind.le

Progettista:

Dott. Geol. Massimo Ranieri

Tav. n.	Oggetto	Scala		
21	Isocone Piombo terreno profondo	Grafica		
Data	Redatto	Verificato	Approvato	Revisione
Dic. 2019	ADA	ADA	MR	00