



REGIONE SICILIANA
Assessorato Regionale del Territorio e dell'Ambiente
Dipartimento Regionale dell'Ambiente

ANALISI ASSOLUTA DI RISCHIO SITO SPECIFICA

Ai sensi del D. Lgs 152/06 e ss.mm.ii.

Sito inquinato ex discarica in località Acqua dei Corsari nel Comune di
Palermo (PdB n. 125)



Committente

“Ass. Regionale Territorio ed Ambiente
Dipartimento Ambiente
Servizio 3
Dr. Guadagnino Aldo

Il R.U.P.

Arch. Polizzi Antonino

Il Geologo

Dr. Ilarda Gandolfo
(O.R. C. n. 187)

(Firmata digitalmente)

Sommario

1.	Premessa	2
2.	Riferimenti Normativi	4
3.	Modello Concettuale.....	6
3.1	Sorgente	7
3.1.1	Storia del sito.....	8
3.1.2	Stato attuale dei luoghi.....	8
3.1.3	Inquadramento geografico geomorfologico.....	9
3.1.4	Inquadramento geologico	12
3.1.5	Idrologia, idrografia ed idrogeologia	14
3.1.6	Indagini e studi pregressi.....	14
3.2	Vie di Migrazione.....	22
3.3	Fattori di Trasporto.....	22
3.4	Bersagli.....	26
3.5	Fattori di esposizione	26
4.	Definizione del Rischio Sanitario Ambientale	28
5.	Parametri input sito specifici per l'implementazione della AdR	30
5.1	Parametri caratteristici del suolo insaturo	31
5.2	Parametri caratteristici del suolo saturo.....	33
5.3	Parametri caratteristici ambiente outdoor	34
6.	Parametri caratteristici aree di potenziale contaminazione	35
7.	Calcolo delle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR).....	39
8.	Conclusioni.....	42

ALLEGATI

- ALL.I Stralcio Tavoleta Topografica in scala 1:25.000
- ALL.II Stralcio Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000
- ALL.III Carta geologica in scala 1:10.000
- ALL.IV Carta Idrogeologica n scala 1:10.000
- ALL.V Stralcio aerofotogrammetrico con ubicazione sondaggi in scala 1:2.000
- ALL.VI Stralcio aerofotogrammetrico con indicazione delle sorgenti in scala 1:2.000
- ALL.VII Stralcio aerofotogrammetrico con componenti ambientali in scala 1:2.000
- ALL.VIII Tabelle di calcolo proUCL
- ALL.IX Tabelle di sintesi dei superamenti
- ALL.X Tabelle riassuntive dei campioni suolo e sottosuolo (allegato esterno)

1. Premessa

Con D.D.G. N. 539 del 16 agosto 2018, lo scrivente, è stato incaricato di redigere l'Analisi di Rischio Sanitario Ambientale Sito-Specifica, del sito inquinato "ex discarica Acqua dei Corsari" sita in via Messina Marine – località Acqua dei Corsari – nel territorio comunale di Palermo.

Premesso che:

Con Ordinanza del Commissariato Delegato per l'emergenza Bonifiche e Tutela delle Acque in Sicilia n. 124 del 30/03/2009 la società Sviluppo Italia aree produttive S.p.A., è stata incaricata della redazione del Piano di Caratterizzazione, ai sensi del *D. Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii.*, dell'ex discarica in località Acqua dei Corsari, foglio di mappa n. 77 part. 69 nel Comune di Palermo;

Con D.D.S. n. 60/SRB del 19/03/2009 l'Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque, ha autorizzato il Piano di Caratterizzazione dell'ex Discarica Acqua dei Corsari, approvato con verbale di conferenza di servizi del 11/03/2009;

Con nota del 29 settembre 2015, Invitalia — Attività Produttive S.p.A., a seguito di richiesta dell'A.R.P.A. Sicilia con nota prot. n. 244119 del 23/07/2015, ha trasmesso la Perizia di Variante e Suppletiva del predetto Piano di Caratterizzazione, redatta, ai sensi del *D.P.R. 207/2010 art. 131 comma c*;

Con verbale della conferenza di servizi del 18/11/2015 tenutasi presso l'Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità — Dipartimento Regionale dell'Acqua e dei Rifiuti, la conferenza ha espresso parere favorevole all'approvazione delle integrazioni al Piano di Caratterizzazione dell'ex Discarica Acqua dei Corsari;

Con D.D.S. n.° 20 del 21/01/2016 dell'Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità — Dipartimento Regionale dell'Acqua e dei Rifiuti sono state autorizzate le integrazioni del Piano di Caratterizzazione dell'ex Discarica Acqua dei Corsari;

Con nota prot. n. 29113 del 11/05/2016, avente per oggetto "Validazione analitica del Piano di Caratterizzazione della ex discarica di Acqua dei Corsari — Palermo", l'A.R.P.A. Sicilia ha validato i dati dei campionamenti in situ (matrice suolo ed acqua) e delle attività espletate presso il "Laboratorio AMBIENTE s.c. — Carrara";

Con nota prot. n. 47805/S6/U.O.B.2 del 11/11/2016 il Servizio VI del Dipartimento Regionale dell'Acqua e dei Rifiuti ha trasmesso all'A.R.T.A., Servizio 3, copia del verbale del tavolo tecnico tenutosi in data 21/06/2016 relativo alla "validazione analitica del Piano di Caratterizzazione della ex

discarica di Acqua dei Corsari in Palermo" nel corso del quale è emersa l'urgenza della redazione dell'Analisi di Rischio;

Con nota prot. n. 13025 del 19 maggio 2017 il Servizio 6 — Bonifiche del Dipartimento regionale dell'Acqua e dei Rifiuti, avente per oggetto "Piano di caratterizzazione della ex discarica in località Acqua dei Corsari nel Comune di Palermo Codice Identificativo PO FESR 2007-2013" sollecitava l'A.R.T.A. - servizio 3, ad ottemperare alle prescrizioni scaturite dal tavolo del 21/06/2016, procedendo con urgenza alla redazione di una Analisi di Rischio Sito-Specifica in modo da evidenziare o escludere la presenza di un eventuale rischio e tracciare il conseguente iter di prosecuzione del procedimento ai sensi del *D. Lgs. 152/2006*. Considerato anche il fatto che la programmazione dei fondi Comunitari PO FESR 2014/2020 prevede, in tema di bonifiche, l'Azione 6.2.1 "Bonifica di aree inquinate secondo le priorità previste dal Piano regionale di Bonifica":

tutto ciò premesso, considerato che l'area dell'ex discarica Acqua dei Corsari, per la quale è stato redatto apposito Piano di Caratterizzazione, ricade nel Demanio Marittimo, e che lo stesso Piano di Caratterizzazione prevedeva a fine lavori, l'Analisi di Rischio Sanitario Ambientale Sito-Specifica da parte dell'A.R.T.A- Dipartimento Ambiente, in qualità di Ente proprietario dell'area inquinata, al fine di determinare il rischio sanitario causato dalle matrici suolo ed acqua del sito, è stato conferito apposito incarico allo scrivente, dr. Geol. Ilarda Gandolfo, al fine di elaborare la suddetta Analisi di Rischio.

Il sito dell'ex discarica Acqua dei Corsari, è già stato in passato oggetto di interventi di bonifica e messa in sicurezza dell'area. Attualmente però, lo stesso è inserito con Id sito n. 453 – Id segn. 609, - discarica inerti ed RSU - nell'elenco delle discariche ricadenti nella Provincia di Palermo, di cui all'Aggiornamento del Piano Regionale delle Bonifiche Parte I, approvato con Delibera di Giunta Regionale n. 315 del 27 settembre 2016, in quanto non ancora ultimata la procedura prevista per legge.

Il presente elaborato tecnico e le attività di caratterizzazione svolte nel presente elaborato, ai sensi del *D. Lgs. 152/06 e ss.mm.ii.* hanno l'obiettivo di:

- ricostruire le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche dell'area al fine di sviluppare il modello concettuale definitivo del sito;
- ottenere i parametri necessari a condurre nel dettaglio l'analisi di rischio sito specifica;
- individuare le possibili vie di dispersione e migrazione degli inquinanti dalle fonti verso i potenziali ricettori;

- verificare l'esistenza di inquinamento di suolo, sottosuolo e acque sotterranee;
- individuare i possibili ricettori.
- definire il grado, l'estensione volumetrica dell'inquinamento

Lo scrivente, pertanto, acquisita tutta la documentazione tecnica ed analitica messa a disposizione da parte dell'A.R.T.A., nonché, visionati gli atti e gli elaborati messi a disposizione dello scrivente dall'A.R.P.A., ha proceduto alla redazione del presente documento.

2. Riferimenti Normativi

Il presente documento è stato sviluppato con riferimento alle prescrizioni e indicazioni contenute nei seguenti riferimenti normativi e tecnici:

- 2.1 D. Lgs 152/06, Parte Quarta Titolo V;
- 2.2 ASTM (1995), *Standard Guide for Risk Based Corrective Actions Applied at Petroleum Release Sites*, Report E1739
- 2.3 USEPA (1997), *Exposure Factor Handbook*
- 2.4 ASTM (1998), *Standard Provisional Guide for Risk* 98;
- 2.5 USEPA (2002), *OSWER Draft Guidance for Evaluating the Vapor intrusion to Indoor Air Pathway from Groundwater and Soil (Subsurface Vapor Intrusion Guidance)* 004;
- 2.6 Gruppo di lavoro “Analisi di Rischio” APAT *riferimento per la valutazione delle conformità del Livello 2 ai “Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati”* (Rev. 1);
- 2.7 APAT (marzo 2008), *Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati*, Revisione 2;
- 2.8 Gruppo di lavoro “Analisi di Rischio” APAT *riferimento per la determinazione e la validazione dei parametri sito nell'applicazione dell'analisi di rischio ai sensi del D.Lgs 152/06*;
- 2.9 Banca dati ISS-ISPEL (marzo 2018);
- 2.10 *Legge Regionale 8 aprile 2010, n. 9*;
- 2.11 *Deliberazione della Giunta Regionale n. 93 del 23/03/2016*.

L'Analisi di Rischio è stata elaborata seguendo la metodologia *Risk Based Corrective Action* (RBCA), universalmente riconosciuta per la valutazione del rischio potenziale in siti contaminati e standardizzata dall'*American Society Testing Materials* (ASTM).

La procedura RBCA rappresenta il riferimento anche per le Linee Guida APAT 2008, che pur non avendo carattere normativo, si propongono come *punto di riferimento teorico ed applicativo per tecnici*

delle Pubbliche Amministrazioni, ricercatori, professionisti ed operatori del settore che si trovino a dover redigere e/o valutare progetti di bonifica dei siti contaminati contenenti elaborazioni di analisi di rischio sanitario-ambientale. In particolare vengono fornite indicazioni tecniche per l'applicazione dell'analisi di rischio di **Livello 2**, così come definito dalla procedura RBCA ("Risk Based Corrective Action") descritta negli standard ASTM E-1739-95, PS-104-98 . E 2081- 00, sia in **modalità diretta (forward)**, ovvero per il calcolo del rischio per l'uomo associato alla presenza di contaminanti nelle matrici ambientali, sia in **modalità inversa (backward)**, ovvero per il calcolo degli obiettivi di bonifica sito-specifici.

Per il calcolo del rischio è stato utilizzato il **software RISK-NET 3.0** sviluppato dall'Università "Tor Vergata" di Roma.

Il software RISK-NET 3.0 è stato sviluppato nell'ambito della rete RECONnet (Rete Nazionale sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati) su iniziativa del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica dell'Università di Roma "Tor Vergata". Il software permette di calcolare il rischio e gli obiettivi di bonifica legato alla presenza di contaminanti all'interno di un sito, applicando la procedura APAT-ISPRA di analisi di rischio sanitaria ("*Criteri Metodologici di applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati*" APAT-ISPRA 2008) in accordo con quanto previsto dalla normativa italiana (D. Lgs. 152/06 e D. Lgs. 04/08 e ss.mm.ii.).

La successione delle fasi, attraverso le quali è stata completata l'analisi di rischio, in conformità col quadro normativo, risulta quindi così articolata:

- definizione del modello concettuale del sito (MCS), delle potenziali vie di esposizione e dei possibili recettori della contaminazione e stima dell'esposizione (calcolo della dose assunta);
- analisi della tossicità e determinazione dei livelli di accettabilità del rischio;
- caratterizzazione del rischio (confronto tra la dose assunta e quella tollerabile) e confronto con i livelli di rischio ritenuti accettabili.

I capitoli successivi descrivono queste fasi della procedura di analisi di rischio, partendo dalla definizione del modello concettuale del sito, che descrive le modalità con cui le sorgenti di contaminazione contribuiscono ad incrementare i livelli di rischio per la salute dell'uomo e per l'ambiente che costituisce l'elemento più importante della procedura. Tale modello risulta pressoché analogo per tutte le aree considerate così come sono stati considerati identici i parametri di esposizione.

3. Modello Concettuale

Il Modello Concettuale rappresenta la base per l'applicazione dell'Analisi di Rischio che dovrà verificare gli scenari di esposizione in esso definiti.

Ai sensi dell'*allegato 2 al Titolo V Parte IV D. Lgs 152/06*, il Modello Concettuale Definitivo include:

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

Il MCS di fatto consente la ricostruzione del mondo reale (naturale e antropico), dei suoi elementi e delle interazioni tra di essi, tramite strumenti matematici, a partire dalle indagini e analisi di caratterizzazione.

Tale elaborazione permette, partendo da una geometria reale e quindi complessa, di dare vita ad uno schema fisico teorico semplificato, schematizzabile come in figura seguente.



Figura 1 - Schema MCS

La Figura 2 sintetizza il modello concettuale adottato, nella sua forma più completa per il caso specifico, con evidenziato le vie di esposizione considerate per quanto concerne il suolo superficiale (0-1 m), il suolo profondo e la falda.



Figura 2 - Modello concettuale del sito

Nella definizione del modello concettuale si è ritenuto, in base alle caratteristiche della contaminazione riscontrata, della conformazione del sito e del contesto abitativo circostante, che le vie di migrazione e di esposizione ipotizzabili sono quelle indicate nello schema di figura 2, nel quale si escludono i fenomeni di volatilizzazione indoor sia da suolo superficiale che profondo in quanto non vi sono edifici residenziali in corrispondenza del sito (on site); si esclude altresì la volatilizzazione indoor da falda on site per analogo motivo e off site in ragione della direzione di deflusso della stessa che tende a fare migrare il plume contaminato nella direzione opposta rispetto agli edifici residenziali presenti nelle vicinanze del sito.

3.1 Sorgente

Un sito può essere considerato potenzialmente contaminato, quando uno o più valori di concentrazione delle sostanze inquinanti rilevate, risultano superiori ai valori di screening, ovvero alla Concentrazione Soglia di Contaminazione (CSC) di riferimento per la specifica area.

La sorgente di contaminazione si distingue in:

- ✓ Sorgente primaria: rappresenta l'elemento che è causa di inquinamento, es. accumulo di rifiuti, sversamento di prodotti tossici, ecc.;
- ✓ Sorgente secondaria: indica il comparto ambientale oggetto di contaminazione (suolo, acqua, aria).

La procedura di Analisi di Rischio, e quindi il Modello Concettuale che ne è alla base, va applicata riferendosi esclusivamente alla sorgente secondaria di contaminazione, e ad essa vanno riferiti tutti i parametri chimico fisici caratteristici.

I comparti ambientali da considerare che possono costituire una sorgente secondaria di contaminazione sono:

- Zona Insatura
- ✓ Suolo superficiale, da 0 a 1 m da p.c.;
- ✓ Suolo profondo, da 1 da p.c..
- ✓ Zona satura, o acquifero.

3.1.1 Storia del sito

La discarica di Acqua dei Corsari, come tutte quelle che si trovano disseminate lungo il litorale palermitano, è stata aperta negli anni '50 a seguito della fine della seconda guerra mondiale per dare risposta alla accresciuta domanda di trovare siti in cui allocare le enormi quantità di materiale proveniente dalle demolizioni degli edifici distrutti dai bombardamenti e da quelli che venivano rasi al suolo per la realizzazione dei nuovi palazzi che sono sorti in maniera rapida e disordinata negli anni '60 e '70. La discarica è stata chiusa a metà degli anni '70 e durante tutto il periodo di attività non risulta sia mai stata utilizzata per altri scopi se non per discarica di inerti.

Nel sito della discarica, dopo la chiusura, non sono state installate attività di alcun tipo, e non risulta siano state rilasciate autorizzazioni e concessioni edilizie per la realizzazione di nuove costruzioni.

Non sono presenti edifici, ad eccezione di un capannone abusivo, né impianti produttivi.

L'unica attività presente nelle immediate vicinanze dell'area, durante la gestione della discarica sino ad oggi, è rappresentata da tre fornaci di cui solo una in attività.

3.1.2 Stato attuale dei luoghi

Cenni urbanistici e destinazione d'uso dell'area

L'area dell'ex discarica di Acqua dei Corsari, ricade nell'omonima borgata storica di pescatori, situata ad est della foce del Fiume Oreto, tra le borgate della Bandita e il confine con il limitrofo Comune di Ficarazzi.

Detta area ricadeva nella zona demaniale marittima, che costeggia tutta la via Messina Marine.

Attualmente, nel vigente Piano Regolatore Generale del Comune di Palermo, l'area ricade in Z.T.O. denominata FC (fascia costiera), come si evince dal successivo stralcio cartografico:

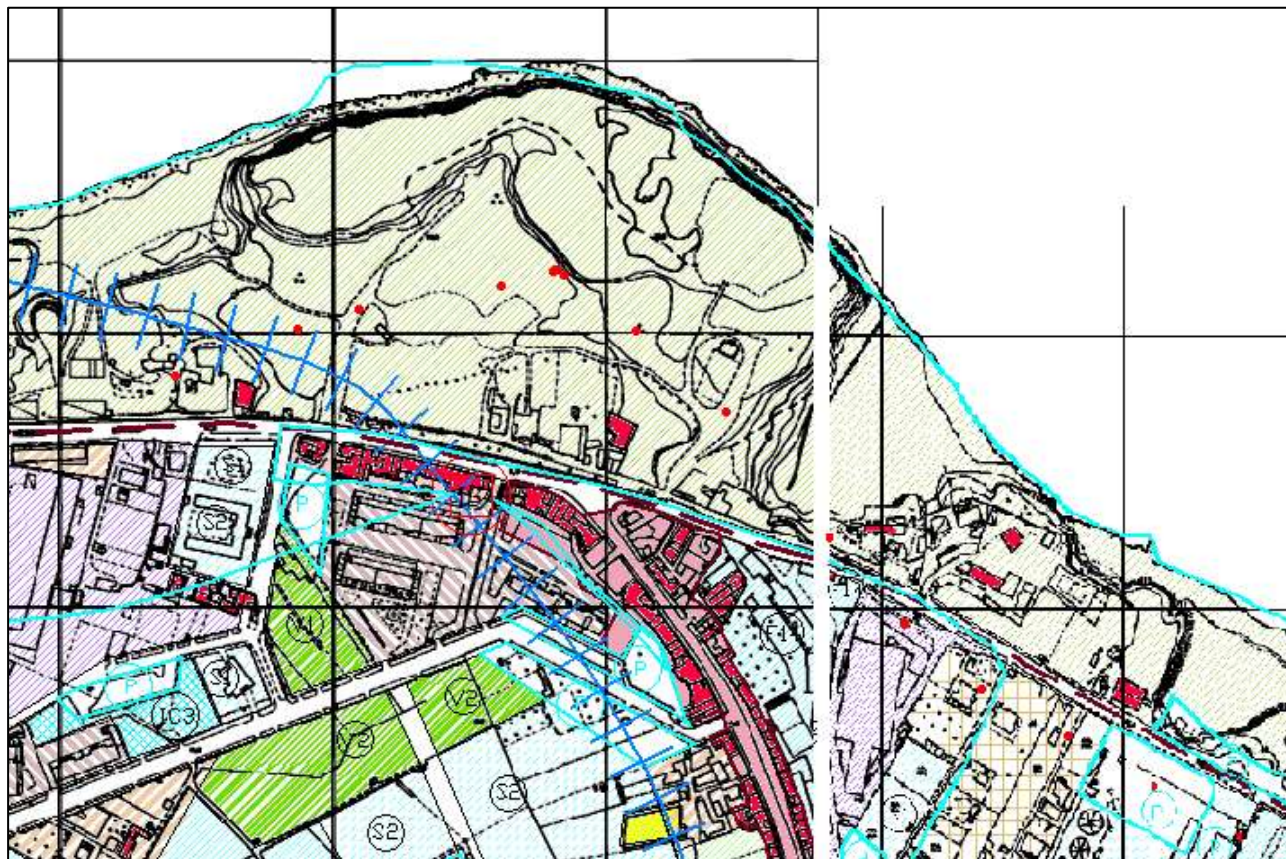


Figura 3 – Stralcio P.R.G. vigente nel Comune di Palermo

Da quanto detto sopra, le analisi e prove di laboratorio sui campioni di terreno prelevati dal sito in questione, sono stati riferiti ai limiti riportati in *tabella 1/A dell'Allegato 5 alla parte Quanta del D. Lgs. 152/06 e ss.mm.ii.*

3.1.3 Inquadramento geografico geomorfologico

Topograficamente la zona in studio ricade nella Tavoletta topografica “Palermo”, F.249 II N.E. della Carta d'Italia, edita in scala 1:25.000 dall'Istituto Geografico Militare Italiano (*allegato I*), e prevalentemente nella Carta Tecnica Regionale C.T.R. 595100 denominata “Villabate”, ed in minima parte nella Carta Tecnica Regionale C.T.R. 595060 denominata “Aspra” (*allegato II*).

Il sito, è ubicato in via Messina Marine – località Acqua dei Corsari, ad una quota topografica media di 10,00 metri s.l.m., ad est nord-est del centro storico della città di Palermo.

In particolare, l'ambito dell'ex discarica di Acqua dei Corsari ricade nell'omonima borgata storica di pescatori, situata ad est della foce del Fiume Oreto, tra le borgate della Bandita e il confine con il limitrofo Comune di Ficcarazzi.

La morfologia generale del comprensorio è caratterizzata da una superficie del suolo quasi del tutto pianeggiante, con quote terreno comprese tra circa 3 -20 metri s.l.m.. Il sito in questione, nonché gran parte della zona adiacente della costa palermitana, è stata creata artificialmente interrando il tratto costiero con terreno di riporto e argille siltose nerastre recenti.

I materiali di risulta, sono molto eterogenei e principalmente costituiti da pezzi informi di calcareniti, ciottolame calcareo e cocci di terrecotte, il cui spessore aumenta nelle zone prossime al mare. Le argille siltose nerastre, sono costituite dalla mescolanza di limo nerastro, sabbia e ghiaie scheletriche, come prodotto di due processi sedimentari: meccanico e biologico. Il primo ha causato la sedimentazione di materiale terrigeno trasportato prevalentemente dal Fiume Oreto. Il secondo processo caratterizza i depositi presenti nella zona vicina, prossima alla foce del Fiume Oreto.

L'area oggetto del presente studio, ovvero quella dell'ex discarica Acqua dei Corsari, ha una forma semi-circolare, una estensione complessiva pari a circa 13,00 ha, e confina con altre aree demaniali, ad est ed ovest, con il mare a nord e con dei vecchi fabbricati costruiti in adiacenza alla via Messina Marine a sud.

Nel seguente stralcio di ortofotogrammetrico, è indicata l'esatta posizione dell'area:



Figura 4- Stralcio ortofoto area in studio

Il sito si inserisce nel versante sud orientale della fascia costiera comunale e la sua attuale morfologia è interamente ed esclusivamente di tipo artificiale perché determinata dall'apporto consistente e praticamente incontrollato di sfabbricidi aridi, terreno vegetale e di sbancamento in genere, in gran parte derivanti dalle profonde trasformazioni subite dalla città, in particolare dalla sua zona meridionale.

Dal punto di vista geomorfologico l'area, a parte gli effetti morfologici generati dall'azione antropica quali i cosiddetti "mammelloni" (vecchie discariche di sfabbricidi e materiale di risulta di scavi e sbancamenti), in generale, è costituita da un paesaggio molto regolare contraddistinto da terrazzi marini formatisi durante il Pleistocene e caratterizzati dall'affioramento del "Complesso Calcarenitico-sabbioso", delimitati a monte dai rilievi carbonatici noti in letteratura come "I Monti di Palermo" ed a valle dal mare.

La zona non presenta agenti morfogenetici particolari, tranne il mare. Nello specifico, si è riscontrato che il moto ondoso è condizionato prevalentemente dai venti di Tramontana e Grecale, che agiscono pressoché frontalmente all'attuale linea di costa, determinando una continua e rapida erosione con conseguente movimentazione del materiale solido.

La zona, invece, è molto modellata dall'attività antropica che con l'urbanizzazione del territorio circostante, ha contribuito ad obliterare alcuni tratti morfologici originari.

L'area, ricade all'interno di un contesto caratterizzato dalla diversa resistenza alla degradazione ed al disfacimento, ovvero all'erosione differenziale dei diversi tipi litologici affioranti.

Tali diversità litologiche, insieme alla variabilità delle caratteristiche strutturali e giaciture, comportano una certa variabilità delle forme epigee in relazione alla diversa resistenza offerta agli attacchi da parte degli agenti esogeni.

In considerazione delle condizioni morfologiche riscontrate, unitamente alle caratteristiche litologiche dei terreni affioranti, nonché alle caratteristiche di urbanizzazione dell'area, sono da escludere fenomeni di instabilità di tipo gravitativo, che possano interessare il sito in oggetto o le aree ad esso strettamente adiacenti.

Inoltre, per le caratteristiche idrogeologiche e geolitologiche dei terreni affioranti nell'area, per il fatto che ci troviamo all'interno del centro urbano, dove le acque sono quasi totalmente regimate, sono da escludersi fenomeni di sovralluvionamento, che possono interessare l'area in questione.

3.1.4 Inquadramento geologico

Il rilievo geologico costituisce una delle indagini più importanti per la definizione delle caratteristiche geologiche e stratigrafiche di un sito; nel presente lavoro, le osservazioni di superficie, unitamente ai dati bibliografici esistenti, hanno consentito di redigere una Carta Geologica in scala 1:10.000 (*allegato III*) dell'area di insidenza dell'ex discarica Acqua dei Corsari, ed hanno permesso di definire i rapporti stratigrafico-strutturali intercorrenti tra i terreni affioranti nell'area.

La serie dei terreni presenti nella piana di Palermo, è rappresentata da depositi mesozoico-neogenici di natura carbonatica, silico-carbonatica e terrigena, che si sono sedimentati nell'originario "Bacino Imerese", su cui, in discordanza stratigrafica, si trovano sovrapposti i depositi quaternari calcarenitico-sabbiosi ed argilloso-sabbiosi e i depositi recenti ed attuali di origine continentale.

La successione stratigrafica, presente nell'area in questione, e in tutta la zona della piana e i monti di Palermo, in dettaglio è la seguente:

Argille, argille marnose e marne grigio scure o verdastre, ad alterazione giallastra, con tessitura a scaglie e con intercalazioni di calcilutiti marnose grigio-bluestre. Tale litotipo è riconducibile alla "Formazione Mufara" (Carnico-Norico);

Doluruditi e doloareniti gradate e laminate e brecce dolomitiche risedimentate di colore grigio, talora rosate, grigio-giallastre e biancastre, spesso cariate, generalmente in banchi di grosse dimensioni o massive. Presentano diversi sistemi di giunti variamente orientati di notevole persistenza, spesso beanti. Tipo riconducibile alla "Formazione Fanusi" (Trias superiore-Lias inferiore);

Argilliti silicee varicolori stratificate, marne a radiolari e radiolariti, con intercalazioni lenticolari di calcareniti gradate e laminate, silicizzate, calcari oolitici e pseudoolitici grigio giallastri. Tipo riconducibile alla "Formazione Crisanti" (Lias superiore-Cretaceo Medio);

Calcilutiti e calcisiltiti di colore rossastro e biancastro a foraminiferi planctonici e radiolari con intercalati sottili livelli di marne e biocalcareni gradate e laminate. Tipo riconducibile alla "Formazione Scaglia" (Cretaceo superiore-Eocene Medio);

Argille talora siltose, talora marnose, con livelli argillitici, generalmente brune o color tabacco, ricche di ossidi di ferro, con subordinate intercalazioni di quarzareniti e quarzosiltiti. Tipo riconducibile alla "Formazione del Flysch Numidico", localmente denominato "Ginolfo" (Oligocene superiore-Miocene inferiore);

Alla suddetta successione litostratigrafica in facies Imerese, seguono in discordanza i depositi quaternari costituiti da:

- Conglomerato poligenico e ghiaia con grado di cementazione variabile, di origine trasgressiva, al contatto con il substrato oligo-miocenico (Pleistocene inferiore);
- Argille sabbiose di colore dal grigio plumbeo all'azzurrognolo, rinvenute soltanto attraverso perforazioni al di sotto della copertura calcarenitica quaternaria lungo le sponde del fiume Oreto. Intercalati alle argille sabbiose, si rinvencono livelli di spessore variabile di sabbie grigie fossilifere e più rari livelli e lenti sottili di calcareniti grigie (Pleistocene inferiore);
- Calcareniti giallastre alternate a sabbia. Sia le calcareniti che le sabbie generalmente sono costituite da clasti di natura carbonatica, di tritume fossilifero e subordinatamente di un modesto contenuto in quarzo detritico. I macrofossili, in genere addensati in lenti o sottili livelli, risultano abbondanti. Gli strati presentano una giacitura suborizzontale e pendenze di 15°. La formazione presenta diverse litofacies che si alternano tra di loro in senso verticale e lateralmente si presentano interdigitate (Pleistocene inferiore)

Infine seguono i depositi continentali recenti ed attuali:

- depositi alluvionali incoerenti a granulometria variabile, da ghiaioso-sabbiosi a sabbioso-limosi fino ad argille siltose di colore nerastro con abbondanti resti organici (Recente);
- terreno di riporto costituito da materiali molto eterogenei, generalmente pezzi e frammenti di calcarenite, cocci di laterizi, variamente e disordinatamente frammisti a limo con sabbia, sabbia limosa o debolmente limosa, ghiaia talora grossa (Attuale).

Nell'area di ubicazione dell'ex discarica Acqua dei Corsari, affiorano nell'ordine i seguenti terreni:

- Terreni di riporto per spessori variabili tra 15 e 25 m;
- Complesso calcarenitico pleistocenico per spessori variabili tra 5 e 10 m;
- Limi sabbiosi pliocenici.

3.1.5 Idrologia, idrografia ed idrogeologia

L'area dell'ex discarica Acqua dei Corsari, si trova poco ad est del centro abitato di Palermo, e per la sua collocazione geografica, può ritenersi appartenente al bacino idrografico sotteso dal fiume "Oreto".

Il reticolato idrografico è quindi rappresentato dal fiume "Oreto" e dai due fiumi sotterranei che attraversano gran parte della città di Palermo, ovvero il "Papireto" e il "Kemonia"; quest'ultimi due, hanno la loro foce nella insenatura curvilinea della "Cala", dove sorge il porto turistico. Tale condizione è da mettere in relazione allo sviluppo urbanistico della città in quest'area, nonché alla notevole permeabilità dei terreni calcarenitici, che favorisce l'infiltrazione delle acque piovane sottraendole al deflusso superficiale.

Inoltre, L'area di ubicazione dell'ex discarica Acqua dei Corsari è costituita esclusivamente da terreno di riporto e frammenti di calcarenite, con inclusione di diversi cocci di laterizi variamente e disordinatamente frammisti a sabbie. Lo spessore di questi depositi è di circa 10-15 metri. Sono caratterizzati da una permeabilità per porosità in genere molto elevata, con valori che si aggirano intorno a 10^{-2} m/sec.

Le acque, infiltratesi, contribuiscono a ricaricare la falda freatica il cui livello è stato riscontrato a quote variabili tra 0 e 25,00 m.s.l.m.

Si tratta di una falda salmastra poggianti direttamente sull'acqua di mare, che si infiltra attraverso le rocce permeabili che costituiscono l'area.

Nessun contatto idrogeologico è possibile tra la falda a monte e le acque di infiltrazione della discarica, in quanto queste hanno solo un movimento verticale, verso il mare.

Tutte le rocce affioranti che costituiscono l'area appartengono alla categoria delle rocce permeabili per porosità. Si tratta di rocce i cui meati sono intercomunicanti e, generalmente, abbastanza ampi in dipendenza dalla granulometria dei clasti e della cementazione. I terreni di base (Formazione di argille Plioceniche) sono, invece, impermeabili e costituiscono il letto della falda freatica. La carta idrogeologica dell'area è riportata in allegato 4 alla presente relazione.

3.1.6 Indagini e studi pregressi

Tra il 23 agosto e il 17 settembre 2004 è stata condotta una campagna di indagini nel sito consistente in:

- n° 15 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo di profondità compresa tra 10 e 28 m;
- n° 6 piezometri a tubo aperto, installati nei sondaggi S3, S5, S8, S12, S14, S15;
- n° 6 pozzetti esplorativi della profondità di circa 4 m;
- indagine con metodo Georadar distribuita su 9 aree per un totale di 1.366 m di rilievo;
- prelievo di n° 33 campioni di terra dalle carote dei sondaggi;
- prelievo di n° 6 campioni di acqua all'interno dei piezometri;
- prelievo di n° 4 campioni di acqua di mare;
- prelievo di n° 4 campioni di sedimento del fondo marino.

Gli analiti ricercati sulle acque (campioni di acqua dai piezometri e campioni di acqua a mare), e sui terreni, sono riportati rispettivamente in Tabella 1 e Tabella 2.

La planimetria con l'ubicazione dei punti di campionamento è riportata in *allegato 5*.

Il sondaggio S15, che rappresenta l'indagine sul "fondo naturale" (bianco), è stato ubicato sulla via Messina Marine.

L'analisi dei dati relativi al campionamento delle acque ha rivelato una concentrazione di solfati superiore alla soglia prevista di 250 mg/l.

L'elevato valore di concentrazione dei solfati può essere giustificato dall'innalzamento periodico della superficie marina, che interferisce con la falda alterandone la salinità. Per cui può legittimamente ritenersi l'assenza di inquinamento da solfati.

In corrispondenza del sondaggio S3, si è rilevata una concentrazione di piombo pari a 15 µg/l, molto superiore rispetto alla media degli altri 5 campioni (< 0,1 p.g/1). Per quanto riguarda tutti gli altri parametri analizzati per le acque non sono stati rilevati superamenti dei valori di soglia previsti per legge, pertanto, gli esiti della caratterizzazione citata, non rilevano pregiudizio della qualità delle acque di falda.

Per quanto riguarda le analisi effettuate sui terreni, si è rilevato un andamento delle concentrazioni di piombo piuttosto irregolare nella parte occidentale della discarica e più regolari e decrescenti nella parte orientale. Il valore massimo (superiore a quello di soglia) è localizzato nell'area occidentale all'interno della discarica ed è ubicato poco al di sotto della quota di 6 m s.l.m.

In base alle analisi delle concentrazioni di piombo, può escludersi la presenza di processi migratori di inquinanti di entità rilevante, sia in senso areale che in senso verticale.

Analoghe considerazioni sono state ricavate per il rame e lo zinco.

In corrispondenza al sondaggio S5-campione Ci (profondità 4,80-6,00 m) si è ritrovata una concentrazione di piombo pari a 124,5 mg/Kg superiore al valore di soglia (100 mg/Kg).

L'andamento delle concentrazioni di idrocarburi pesanti, ha mostrato valori piuttosto bassi in quasi tutta l'area della discarica, ad eccezione della zona est, nella quale due campioni superano i limiti di soglia previsti (50 mg/Kg): il campione S8-C2 (profondità 15,00-16,00 m) a quota 0,30 m s.l.m (57 mg/Kg) ed il campione S8bis-C2 a quota 1,40 m s.l.m. (66,1 mg/Kg).

Tali valori sono certamente imputabili ad accumuli localizzati e circoscritti, e non determinano influenza sulle aree limitrofe, che presentano concentrazioni molto basse e per buona parte inferiori a quella del campione bianco (17,4 mg/Kg). In corrispondenza al campione C1 (profondità 7,00-8,00 m) del sondaggio S8bis è stata rinvenuta una concentrazione di rame di 162,2 mg/Kg superiore al valore soglia (150 mg/Kg).

Un risultato insolito risulta quello relativo al campione C1 (profondità 8,00-10,00 m) del sondaggio S15, in cui si è rilevato un valore di concentrazione di Zinco di 185,4 mg/Kg superiore al valore soglia (150 mg/Kg).

Le considerazioni sopra esposte sono state desunte dalla caratterizzazione del sito nell'ambito del progetto di "Caratterizzazione del sito e criteri di messa in sicurezza permanente", redatto da SERING Ingegneria.

Tabella 1: Panel analiti acque sotterranee

Parametro	Unità di misura
Conducibilità elettrica	$\mu\text{S}/\text{cm}$
Bicarbonati	mg/l
Carbonati	mg/l
Calcio	mg/l
Cloruri	mg/l
Magnesio	mg/l
Potassio	mg/l
Sodio	mg/l
Cianuri liberi	$\mu\text{g}/\text{l}$
Fluoruri	$\mu\text{g}/\text{l}$

Solfati	mg/l
Nitrati	mg/l
Idrocarburi Policiclici Aromatici	
Benzo(a)antracene	µg/l
Benzo(a)pirene	µg/l
Benzo(b)fluorantene	µg/l
Benzo(k,)fluorantene	µg/l
Benzo(g, h, i,)perilene	µg/l
Crisene	µg/l
Dibenzo(a)pirene	µg/l
Dibenzo(a,h)antracene	µg/l
Indenopirene	µg/l
Pirene	µg/l
Sommatoria IPA	µg/l
Idrocarburi leggeri <C12	µg/l
Idrocarburi leggeri >C12	µg/l
PCB totali	µg/l
Composti alifatici alogenati	
Tribromometano	µg/l
1,2 Dibrorno metano	µg/l
Dibromoclorometano	µg/l
Bro modiclorometan o	µg/l
Fenoli e derivati	
Fenolo	µg/l
o-m-p- Metilfenolo	µg/l
2-Clorofenolo	µg/l
2,4-diclorofenolo	µg/l
2,4_,6-triclorofenolo	µg/l
Pentaclorofenolo	µg/l
Ammine aromatiche	µg/l
Cloronitrobenzene	µg/l
Nitrobenzene	µg/l
1,2dinitrobenzene	µg/l
1,3dinitrobenzene	µg/l
Metalli	
Antimonio	µg/l
Arsenico	µg/l
Berillio	µg/l
Cromo totale	µg/l
Cromo esavalente	µg/l
Cobalto	µg/l
Cadmio	µg/l
Mercurio	µg/l
Nichel	µg/l
Piombo	µg/l
Rame	µg/l

Selenio	$\mu\text{g/l}$
Stagno	$\mu\text{g/l}$
Tallio	$\mu\text{g/l}$
Vanadio	$\mu\text{g/l}$
Zinco	$\mu\text{g/l}$

Tabella 2: Panel analiti terreni

Parametro	Unità di misura
Cianuri	mg/Kg
Fluoruri	mg/Kg
Idrocarburi Policiclici Aromatici	
Benzo(a)antracene	mg/Kg
Benzo(a)pirene	mq/Kg
Benzo(b)fluorantene	mg/Kg
Benzo(k,)fluorantene	mg/Kg
Benzo(g,h,i,)perilene	mg/Kg
Crisene	mg/Kg
Dibenzo(a)pirene	mg/Kg
Dibenzo(a,h)antracene	mg/Kg
Indenopirene	mg/Kg
Pirene	mg/Kg
Sommatoria IPA	mg/Kg
Idrocarburi leggeri <C12	mg/Kg
Idrocarburi leggeri >C12	mg/Kg
PCB totali	mg/Kg
Composti alifatici alogenati	
Tribromometano	mq/Kg
1,2Dibromometano	mg/Kg
Dibromoclorometano	mg/Kg
Bromodichloro metano	mg/Kg
Fenoli e derivati	
Fenolo	mg/Kg
o-m-p- Metilfenolo	mg/Kg
2-Clorofenolo	mg/Kg
2,4-diclorofenolo	mg/Kg
2,4,6-triclorofenolo	mg/Kg
Pentaclorofenolo	mg/Kg
Ar mine aromatiche	mg/Kg
Cloronitrobenzene	mg/Kg
Nitrobenzene	mg/Kg
1,2dinitrobenzene	mg/Kg
1,3dinitrobenzene	mg/Kg
Metalli	
Antimonio	mg/Kg
Arsenico	mg/Kg
Berlino	mg/Kg

Cromo totale	mg/Kg
Cromo esavalente	mg/Kg
Cobalto	mg/Kg
Cadmio	mg/Kg
Mercurio	mg/Kg
Nichel	mq/Kg
Piombo	mg/Kg
Rame	mg/Kg
Selenio	mg/Kg
Stagno	mg/Kg
Tallio	mg/Kg
Vanadio	mg/Kg
Zinco	mg/Kg
Fitofarmaci	

Nel 2007 è stata svolta una successiva attività di caratterizzazione da parte della Società Sviluppo Italia Aree Produttive S.p.A delegata dal Commissario per l'Emergenza Rifiuti e la Tutela delle Acque in Sicilia. Gli esiti di tale caratterizzazione, validati dall'A.R.P.A., costituiscono la base informativa dello svolgimento della presente Analisi di Rischio.

Nello specifico sono stati realizzati n. 35 sondaggi (S1÷S35) più altri 8 attrezzati a piezometro (PZ01÷PZ08).

Poiché lo sviluppo del sito è caratterizzato da soggiacenze della falda disuniformi, si è ritenuto utile ai fini dell'applicazione dell'AdR suddividere preliminarmente l'area in tre zone caratterizzate ciascuna da un livello di profondità della falda pressoché omogeneo. Tale operazione appare necessaria al fine di descrivere nel modo più verosimile possibile il fenomeno di lisciviazione e successiva eventuale contaminazione della falda, che è correlata direttamente alla profondità della stessa; le tre aree sono quelle indicate nell'*allegato VI* alla presente relazione.

Nella tabella di seguito riportata, si indicano le verticali di indagine in esse presenti e il valore di soggiacenza media riscontrato.

Area	Sondaggi	Soggiacenza media [m dal p.c.]
1	S1, S2, S3, S4, S7, S8, S11, S16, S17, S19, S24, S26, S28, S29, PZ02, PZ04, PZ05, PZ06	6
2	S9, S10, S12, S13, S14, S15, S18, S20, S21, S22, S23, S25, S27, PZ03	25
3	S5, S6, S30, S31, S32, S34, S35, S36, S37	13

Per ciascuna area si indicano parametri per i quali sono stati riscontrati valori di concentrazione eccedenti la CSC di riferimento per terreni ad uso verde/ricreativo, suddividendo la matrice insatura in suolo superficiale (da 0 a 1 m da p.c.) e suolo profondo (al di sotto di 1 m da p.c.).

Area 1		
SONDAGGIO	SS	SP
S1	Sn	Sn
S2	Sn, DDT	Sn
S3	Sn, Pb	Sn, DDT
S4	Sn, DDT, PCB	Hg, Sn, DDT
S7	Sn, DDT	Sn, Pb, Cu, DDT, HC>12
S8	Sn, DDT	Sn, Zn, DDT, As
S11	Sn, DDT, HC>12, Bnz (pirene), Bnz (ghi), Ind_pirene	Hg, Pb, Cu, Sn, Zn, Bnz (pirene), Bnz (ghi), Bnz (a,e), Ind_pirene, HC>12
S16	Sn, DDT, Clordano	Sn, Pb, Zn, DDT, Clordano, HC>12
S17	Sn, DDT, HC>12, AS	Sn, Pb, Ta, Zn, DDT, HC>12, Bnz (pirene)
S19	Pb, Sn, Bnz (antracene), Bnz (pirene), Bnz (ghi), Bnz_b_Fluor, DBnz (a,e), Ind_pirene, DDT, PCB, HC>12	As, Cu, Sn, Bnz (antracene), HC>12
S24	Sn, DDT, Pb	Sn, As, Cu, DDT, HC>12
S26	Sn, DDT, HC>12	Sn, DDT, HC>12
S28	Sn	Sn, Bnz (pirene)
S29	Sn	Sn
PZ02	Pb, Sn	Pb, Sn
PZ04	Sn, Bnz(pirene), DDT, PCB	Sn, DDT
PZ05	Sn, PCB, HC>12	Sn, HC>12
PZ06	Pb, Sn, Zn	Sn, HC>12

Area 2		
SONDAGGIO	SS	SP
S9	Sn, DDT, HC>12	Sn
S10	Sn, HC>12	Sn, Pb, HC>12
S12	Sn	Sn, Bnz (antracene), Bnz (pirene), Bnz_b_Fluor, Ind_pirene, DDT
S13	Sn	Sn, Pb, Hg, DDT, HC>12, Bnz (pirene)
S14	Sn, DDT, HC>12	Sn, Hg
S15	Sn	Sn, Hg, DDT, HC>12
S18	Sn, DDT	Sn, DDT, HC>12, Bnz (pirene)
S20	Sn	Sn, Pb, As, Bnz (pirene), Bnz

		(ghi), DDT, HC>12, Indpirene
S21	Sn, HC>12	Sn, Pb, DDT, HC>12
S22	Pb, Sn, Zn, DDT, PCB	Sn, As, DDT, Pb, Zn, PCB, HC>12
S23	Sn, DDT	Sn, Pb, DDT, HC>12
S25	Sn, DDT, PCB	Sn, Cd, Hg, Pb, Cu, Zn, Bnz (pirene), Bnz (ghi), DDT, Clordano, PCB, HC>12
S27	Sn	Sn, Pb, DDT, HC>12
PZ03	Sn, DDT, Clordano	Sn, DDT, Clordano

Area 3		
SONDAGGIO	SS	SP
S5	Sn, DDT, Bnz (pirene)	Sn, Hg, DDT, Bnz (pirene)
S30	Sn, DDT, HC>12	DDT, HC>12
S31	Sn, DDT, HC>12, Zn, Bnz (pirene), PCB	As, Hg, Pb, DDT, PCB, HC>12, Bnz (pirene)
S32	Sn, HC>12, Bnz (pirene), PCB	Sn, As
S34	Sn	Sn, Zn, DDT, HC>12
S35	Sn, Hg, Pb, DDT, Clordano	Sn, DDT, Pb
S36	Sn, DDT, HC>12, Cu	Sn, Bnz (pirene), Bnz (ghi), Indpirene, DDT, HC>12
S37	Sn, HC>12, Pb	Sn

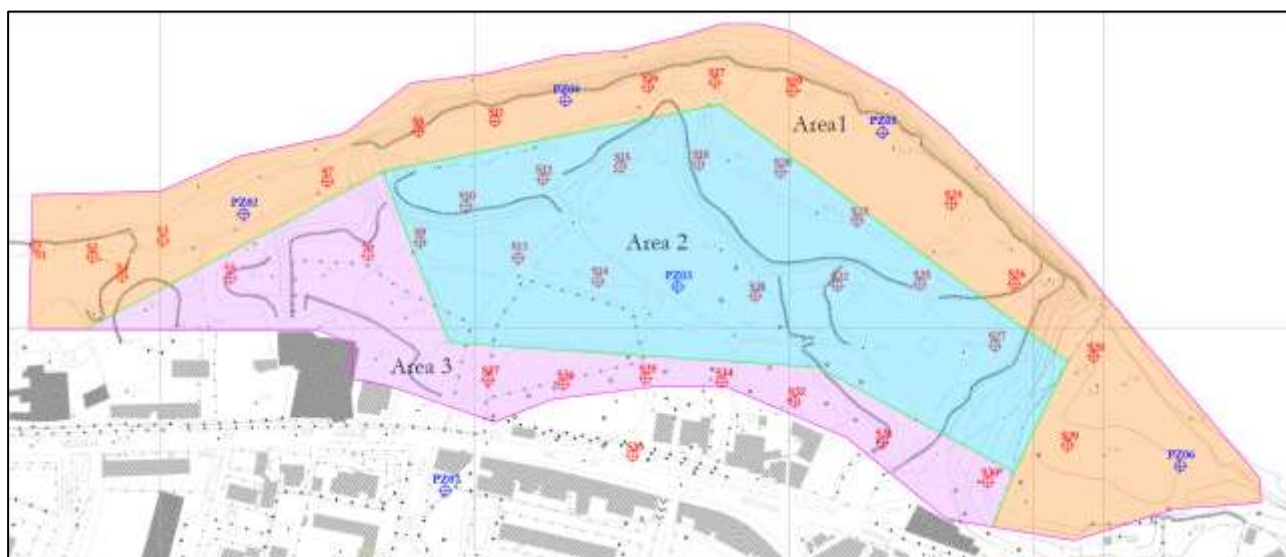


Figura 5- Planimetria con suddivisione delle aree sorgenti di potenziale contaminazione

3.2 Vie di Migrazione

Le vie di migrazione costituiscono il secondo tassello costitutivo del Modello Concettuale, vale a dire definiscono il modo in cui il contaminante presente nell'area sorgente raggiunge i recettori potenzialmente esposti e quindi consentono di stimare la concentrazione della specie chimica in corrispondenza del punto di esposizione.

Le vie di migrazione, descritte matematicamente dai fattori di trasporto, intervengono nella valutazione delle esposizioni indirette, laddove cioè i contaminanti possono raggiungere i bersagli solo attraverso la migrazione dal comparto ambientale sorgente della contaminazione.

Nel caso quindi in cui si ha un'esposizione diretta, ovvero quando la via di esposizione coincide con la sorgente di potenziale contaminazione, nessun fattore di trasporto viene calcolato.

Per i contatti indiretti, le vie di migrazione possibili sono:

- Lisciviazione e dispersione in falda;
- Volatilizzazione in aria outdoor:
 - ✓ Volatilizzazione vapori/emissione polveri da suolo superficiale;
 - ✓ Volatilizzazione vapori da suolo profondo;
 - ✓ Volatilizzazione vapori da falda;
 - ✓ Dispersione in aria outdoor;
- Volatilizzazione in aria indoor:
 - ✓ Volatilizzazione di vapori da suolo/polveri da suolo superficiale;
 - ✓ Volatilizzazione di vapori da falda.

Per le aree oggetto della presente AdR, le **vie di migrazione attive** sono:

- ✓ Contatto diretto da SS
- ✓ Volatilizzazione Vapori outdoor da SS;
- ✓ Volatilizzazione Polveri outdoor da SS;
- ✓ Volatilizzazione Vapori outdoor da SP;
- ✓ Dispersione in aria outdoor;
- ✓ Lisciviazione in falda da SS e da SP
- ✓ Volatilizzazione Vapori outdoor da falda.

3.3 Fattori di Trasporto

L'analisi di rischio in modalità diretta permette il calcolo del rischio associato al recettore esposto, derivante da una sorgente di contaminazione nota. In particolare, nota la concentrazione

rappresentativa della sorgente, si stima l'esposizione da parte del recettore, tenendo conto, sulla base della modalità di esposizione, dell'attenuazione dovuta ai fattori di trasporto. Essi pertanto costituiscono la traduzione matematica dei collegamenti espressi nel MCS tra sorgenti e bersagli al punto di esposizione.

Le equazioni utilizzate nel caso specifico, implementate nel software di calcolo e analoghe a quelle indicate dalle Linee Guida APAT/ISPRA, sono quelle di seguito illustrate.

Volatilizzazione Vapori outdoor da SS

$$VF_{ss} \left[\frac{mg / m^3_{aria}}{mg / kg_{suolo}} \right] = \min \left\{ \begin{aligned} VF_{ss}(1) &= \frac{2 \cdot W' \cdot \rho_s}{U_{air} \cdot \delta_{air}} \sqrt{\frac{D_{eff} \cdot H}{\pi \cdot \tau_{outdoor} \cdot (\theta_w + K_s \cdot \rho_s + H \cdot \theta_a)}} \cdot 10^3 \\ VF_{ss}(2) &= \frac{W' \cdot \rho_s \cdot d}{U_{air} \cdot \delta_{air} \cdot \tau_{outdoor}} \cdot 10^3 \quad (\text{opzionale}) \end{aligned} \right.$$

Dove:

d = spessore della sorgente nel suolo superficiale insaturo (cm)

L_s (SS) = Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c. (cm)

D_{eff} = Coefficiente di diffusione nella zona insatura (cm^2/s)

W' = Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento (cm)

δ_{air} = Altezza della zona di miscelazione in aria (cm)

U_{air} = Velocità del vento (cm/s)

$\tau_{outdoor}$ = Tempo medio di durata del flusso di vapore outdoor (s)

θ_w = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

θ_a = Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura (-)

θ_e = Porosità effettiva zona insatura (-)

H = costante di Henry (-)

ρ_s = Densità del suolo (g/cm^3)

Volatilizzazione Polveri outdoor da SS

Ambienti Outdoor

$$PEF \left[\frac{mg / m^3_{aria}}{mg / kg_{suolo}} \right] = \frac{P_e \cdot W'}{U_{air} \cdot \delta_{air}} \cdot 10^3$$

Dove:

W' = Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento (cm)

δ_{air} = Altezza della zona di miscelazione in aria (cm)

U_{air} = Velocità del vento (cm/s)

P_e = Portata di particolato per unità di superficie ($g/cm^2/s$)

F_i = Frazione di polveri indoor (-)

Volatilizzazione Vapori outdoor da SP

$$VF_{\text{soil}} \left[\frac{\text{mg} / \text{m}^3_{\text{aria}}}{\text{mg} / \text{kg}_{\text{suolo}}} \right] = \min \left\{ \begin{aligned} VF_{\text{soil}}(1) &= \frac{H \cdot \rho_s}{(\theta_w + K_s \cdot \rho_s + H \cdot \theta_a) \cdot \left(1 + \frac{U_{\text{air}} \cdot \delta_{\text{air}} \cdot L_s(\text{SP})}{D_s^{\text{eff}} \cdot W'} \right)} \cdot 10^3 \\ VF_{\text{soil}}(2) &= \frac{W' \cdot \rho_s \cdot d_s}{U_{\text{air}} \cdot \delta_{\text{air}} \cdot \tau_{\text{outdoor}}} \cdot 10^3 \quad (\text{opzionale}) \end{aligned} \right.$$

Dove:

d_s = spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo) (cm)

L_s (SP) = Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c. (cm)

D_s^{eff} = Coefficiente di diffusione nella zona insatura (cm^2/s)

W' = Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento (cm)

δ_{air} = Altezza della zona di miscelazione in aria (cm)

U_{air} = Velocità del vento (cm/s)

τ_{outdoor} = Tempo medio di durata del flusso di vapore outdoor (s)

θ_w = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

θ_a = Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura (-)

θ_e = Porosità effettiva zona insatura (-)

H = costante di Henry (-)

ρ_s = Densità del suolo (g/cm^3)

Dispersione in aria outdoor

$$ADF \left[\frac{\text{mg} / \text{m}^3_{\text{aria,offsite}}}{\text{mg} / \text{m}^3_{\text{aria,onsite}}} \right] = \frac{Q}{2\pi \cdot U_{\text{air}} \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \cdot \left[2 \cdot \exp \left(-\frac{1}{2} \frac{\delta_{\text{air}}^2}{\sigma_z^2} \right) \right]$$

Quantità di inquinante emessa dalla sorgente, Q [cm^3/s]

$$Q = U_{\text{air}} \cdot \delta_{\text{air}} \cdot S_w$$

Dove:

S_w = Estensione della sorgente nella direzione ortogonale a quella del vento (cm)

δ_{air} = Altezza della zona di miscelazione in aria (cm)

U_{air} = Velocità del vento (cm/s)

σ_y = Coefficiente di dispersione trasversale (cm)

σ_z = Coefficiente di dispersione verticale (cm)

Lisciviazione in falda da SS e da SP

$$LF \left[\frac{mg / L_{acqua}}{mg / kg_{suolo}} \right] = \min \begin{cases} LF(1) = \frac{K_{ws} \cdot SAM}{LDF} \\ LF(2) = \frac{d \cdot \rho_s}{I_{eff} \cdot \tau_{LF}} \quad (\text{opzionale}) \end{cases}$$

Soil Attenuation model, SAM (-)

$$SAM = \frac{d}{L_{gw} - L_{s(SS)}} \quad (\text{opzionale})$$

Fattore di diluizione, LDF (-)

$$LDF = 1 + \frac{v_{gw} \cdot \delta_{gw}}{I_{eff} \cdot W}$$

Coefficienti di Ripartizione (kg/L)

$$K_{ws} = \frac{\rho_s}{\theta_w + K_s \cdot \rho_s + H \cdot \theta_a} \quad K_s = \begin{cases} K_d & \text{composti inorganici} \\ K_{oc} \cdot f_{oc} & \text{composti organici} \end{cases}$$

Spessore zona di miscelazione, δ_{gw} (cm)

$$\delta_{gw} = (2 \cdot 0.0056 \cdot W^2)^{0.5} + d_a \cdot \left[1 - \exp \left(- \frac{W \cdot I_{eff}}{v_{gw} \cdot d_a} \right) \right] \quad \text{Se } \delta_{gw} > d_a \rightarrow \delta_{gw} = d_a$$

Dove:

d = spessore della sorgente nel suolo superficiale (cm)*L_{gw}* = soggiacenza della falda rispetto al p.c. (cm)*L_s (SS)* = Profondità del top della sorgente rispetto al p.c. (cm)*v_{gw}* = velocità di Darcy (cm/s)*K_{sat}* = conducibilità idraulica (cm/s)*I_{eff}* = Infiltrazione efficace (cm/s)*τ_{LF}* = tempo di durata media del lisciviato(s)*θ_w* = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)*θ_a* = Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura (-)*θ_e* = Porosità effettiva zona insatura (-)*H* = costante di Henry (-)*ρ_s* = Densità del suolo (g/cm³)*f_{oc}* = frazione di carbonio organico (-)*d_a* = spessore acquifero (cm)*W* = estensione della sorgente nella direzione principale del flusso di falda (cm)*α_z* = Dispersività verticale (cm)

Le equazioni descrittive dei fattori di trasporto, che conducono alla definizione del rischio sito specifico, rispondono alle seguenti assunzioni conservative, che pertanto rendono il risultato dell'elaborazione certamente superiore a quello corrispondente alla realtà:

- Concentrazione degli inquinanti uniformemente distribuita e costante in sorgente per tutto il periodo di esposizione;
- Terreno omogeneo, isotropo e incoerente (si escludono quindi i suoli porosi per fessurazione);
- Condizioni stazionarie.

3.4 Bersagli

I bersagli indicano recettori umani presenti nel sito (on-site) o al di fuori del sito sorgente (off-site).

In funzione della destinazione d'uso, i bersagli si distinguono in:

- ✓ Residenziale/ricreativo (adulti e bambini);
- ✓ Industriale/commerciale (adulti).

Nel caso vi sia possibilità di lisciviazione in falda bisogna scegliere il punto di conformità, ovvero il punto teorico o reale a valle idrogeologico, dove le sostanze inquinanti nelle acque sotterranee devono essere presenti in concentrazioni non superiori alle CSC di riferimento (*Tab. 2 allegato 5, parte IV, Titolo V, D. Lgs. 152/06*).

Per le aree sorgente definite nella presente elaborazione, saranno considerati solo bersagli residenziali mentre il POC è stato posto a valle idrogeologica ai confini del sito (come indicato dalle linee guida ministeriali).

3.5 Fattori di esposizione

I fattori di esposizione vengono utilizzati per descrivere il comportamento atteso per i diversi recettori presenti all'interno o in prossimità del sito. Tali modelli permettono di calcolare la portata effettiva di esposizione EM che si traduce nella stima della dose giornaliera della matrice ambientale considerata, che può essere assunta dai recettori umani identificati nel modello concettuale.

Per i bersagli umani identificati, la via di esposizione attiva nel sito in oggetto e la relativa equazione matematica che definisce la portata effettiva di esposizione EM, è:

- **Inalazione di vapori e polveri in ambienti outdoor**

Inalazione di vapori e polveri outdoor

$$EM \left[\frac{m^3}{kg \times \text{giorno}} \right] = \frac{B_o \cdot EF_{go} \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot 365 \frac{\text{giorni}}{\text{anno}}}$$

Dove:

BW = Peso corporeo (kg)

EF = Frequenza di esposizione (giorni/anno)

ED = Durata di esposizione (anni)

AT = Tempo medio di esposizione (anni). *Per le sostanze non cancerogene AT = ED*

EF_{go} = Frequenza giornaliera outdoor (ore/giorno)

B_o = Inalazione outdoor (m³/ora)

Il calcolo dei fattori di trasporto costituisce un aspetto fondamentale della procedura di analisi di rischio, in quanto consente in ultima analisi di calcolare la **concentrazione al punto di esposizione** derivante dalle diverse vie di migrazione e quindi in definitiva il rischio associato al bersaglio esposto alla data concentrazione in sorgente.

$$C_{poe} = FT \cdot CRS$$

Definita la concentrazione al punto di esposizione, si può calcolare l'esposizione E [mg (kg x d)⁻¹] (di cui al paragrafo successivo):

$$E = C_{poe} \times EM$$

Per quanto attiene ai parametri di esposizione si è scelto di adottare i valori di default proposti dal software (coerenti con le Linee Guida APAT) e sintetizzati nella successiva figura 6

Esposizione Ambientale	De Rigo			De Rigo			De Rigo		
	Parametri di esposizione	Simbolo	UM	Adulti	Bambini	Lavoratori	Adulti	Bambini	Lavoratori
Fattori Comuni									
Peso Corporeo	BA	kg		70	15	70	70	15	70
Tempo di esposizione (cancerogeni)	AT	y				70			70
Quota di esposizione	ED	%		24	5	25	24	5	25
Frequenza di esposizione	EF	h/y		365	350	250	365	350	250
Ingestione di suolo									
Frazione di suolo ingerita	FI	-		1	1	1	-	-	-
Tasso di ingestione suolo	IR	mg/kg		100	200	50	-	-	-
Contatto Dermico									
Superficie di pelle esposta	SA	cm ²		5760	2880	3300	-	-	-
Fattore di attenuazione dermica	AF	mg/cm ²		0.07	0.2	0.2	-	-	-
Inalazione di vapori e polveri outdoor									
Frequenza generale outdoor (h)	EFgn	h/d		24	24	8	24	24	8
Tasso di inalazione di vapori e polveri outdoor (h)	IRi	m ³ /h		0.9	0.9	2.5	0.9	0.7	2.5
Frazione di suolo nella polvere outdoor	Fsd	-		1	1	1	1	1	1
Inalazione di vapori e polveri indoor									
Frequenza Generale indoor	EFgi	h/d		24	24	8	24	24	8
Tasso di inalazione di vapori e polveri indoor (h)	IRi	m ³ /h		0.9	0.7	0.9	0.9	0.7	0.9
Frazione di suolo nella polvere indoor	FI	-		1	1	1	-	-	-
Ingestione di acqua									
Tasso di ingestione di acqua	IRa	L/d		2	1	1	2	1	1

Figura 6- Sintesi parametri di esposizione adottati

4. Definizione del Rischio Sanitario Ambientale

Il rischio sanitario ambientale definisce 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.

In generale il rischio sanitario legato all'esposizione ad una data specie inquinante, viene determinato per mezzo della seguente espressione:

$$R = E \cdot T = (C_{POE} \cdot EM) \cdot T = [(FT \cdot C_S) \cdot EM] \cdot T$$

Dove,

- E, EM, FT hanno i significati definiti al capitolo precedente;
- C_{POE} è la concentrazione calcolata al punto di esposizione del bersaglio;
- C_S è la concentrazione misurata in sorgente;
- T [mg/kgxd]⁻¹ è la tossicità del dato contaminante

Per il calcolo del rischio sanitario occorre distinguere tra sostanze cancerogene e non.

Rischio sanitario da esposizione a sostanze cancerogene

Esso rappresenta l'incremento di probabilità di contrarre un tumore nel corso dell'esposizione alla singola sostanza, ed è dato dal prodotto della dose media giornaliera E (calcolata per la durata di vita) per il fattore cancerogeno SF (Slope Factor [mg/kgxd^{-1}]), definito dai modelli dose-risposta, di cui un esempio nella seguente figura.

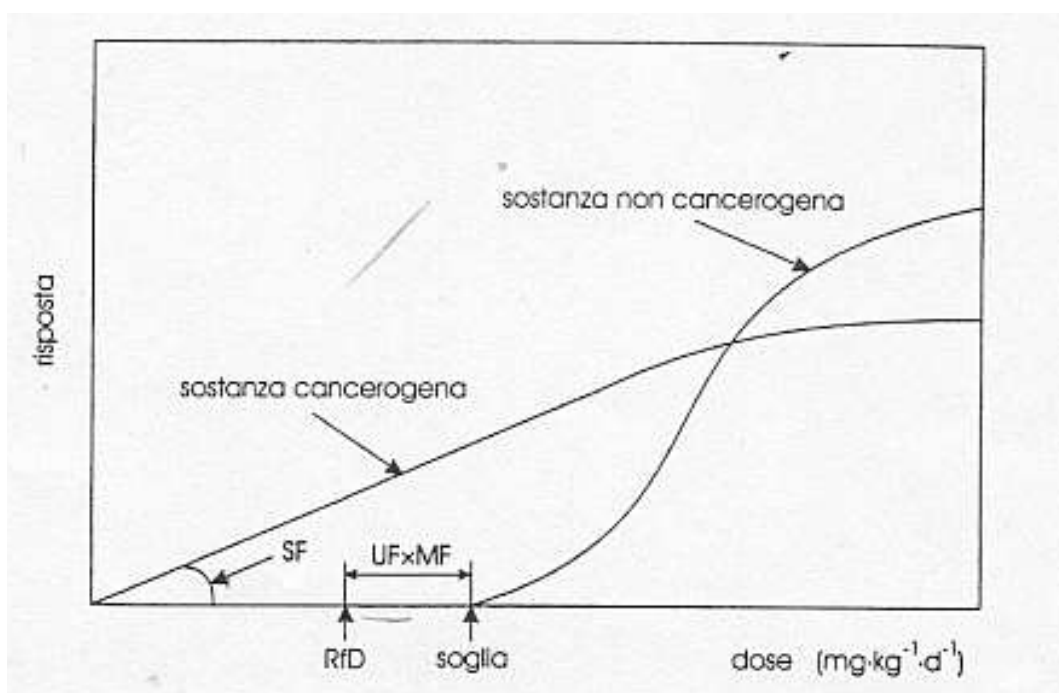


Figura 7- Curva di correlazione dose risposta per sostanze cancerogene e non.

Come si evince in figura 7, per le sostanze cancerogene il legame dose-risposta è di tipo lineare (in realtà solo per basse dosi, ma è un'assunzione conservativa); ciò determina che non esiste una soglia di dose del contaminante dato al di sotto della quale non si registrano effetti. Lo SF , rappresenta allora la tangente del tratto rettilinea della curva dose risposta

L'art. 2, comma 43, del D. Lgs. 4/08 definisce le soglie di rischio cancerogeno accettabili individuali (esposizione a singola sostanza) e cumulative (esposizione a più sostanze) pari a:

- 10^{-6} soglia di rischio individuale (1 probabilità di tumore in più ogni milione di persone esposte);
- 10^{-5} soglia di rischio cumulativa (1 probabilità di tumore in più ogni centomila persone esposte).

Rischio sanitario da esposizione a sostanze non cancerogene

In questo caso il rischio viene definito dal “quoziente di rischio” HQ (hazard quotient), determinato rapportando alla dose media giornaliera del contaminante E (calcolata sulla durata effettiva di esposizione), la dose di riferimento (Reference Dose [mg/kgxd]) RfD.

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

$$HQ = \frac{C_{POE} \cdot EM}{RfD} \quad [-]$$

Il quoziente di rischio HQ, esprime dunque quante volte la dose media giornaliera, calcolata sulla base dell'effettivo periodo di esposizione, supera la dose di riferimento.

Il limite di accettabilità del rischio non cancerogeno, definito dalla normativa è pari a 1 sia per esposizione a singola sostanza che cumulativa.

Rischio per la risorsa idrica sotterranea

Il rischio per la risorsa idrica sotterranea si calcola ponendo a confronto il valore di concentrazione del contaminante in falda, in corrispondenza del punto di conformità (C_{POC}) con i valori di riferimento per la falda (Concentrazioni Soglia di Contaminazione, CSC_{GW}) previsti dalla normativa vigente per i siti contaminati (*D. Lgs 152/06 Tabella 2 Allegato 5, Parte IV-Titolo V*) o proposti dall'ISS nel caso dei composti non ancora normati.

Il punto di conformità è definito come il punto “teorico” o “reale” di valle idrogeologico, in corrispondenza del quale l'Ente di Controllo deve richiedere il rispetto degli obiettivi di qualità delle acque sotterranee. Nel caso della presente elaborazione, il POC viene posto off site.

5. Parametri input sito specifici per l'implementazione della AdR

L'implementazione dell'analisi di rischio sito specifica, quale è quella oggetto della presente relazione, richiede che debbano essere determinati mediante verifiche o indagini dirette alcuni parametri caratteristici, in quanto la loro variazione influenza notevolmente le equazioni analitiche che esprimono i fattori di trasporto. Ciò in coerenza con quanto definito dal Gruppo di lavoro “ANALISI DI RISCHIO” APAT-ARPA-ISS-ISPEL nel Documento di riferimento per la

determinazione e la validazione dei parametri sito-specifici utilizzati nell'applicazione dell'analisi di rischio ai sensi del D. Lgs 152/06 e ss.mm.ii..

In particolar modo i parametri in questione riguardano:

- Parametri meteorologici;
- Geometria delle sorgenti di contaminazione;
- Parametri idrogeologici degli acquiferi;
- Parametri chimico-fisici in zona satura e insatura: tessitura del suolo, frazione di carbonio organico nel suolo saturo e insaturo e pH.

Nei capitoli che seguono, saranno presentati per primi i parametri ritenuti univoci per tutte le aree considerate, a seguire i restanti parametri di input specifici per ciascuna area.

5.1 Parametri caratteristici del suolo insaturo

Parametri geometrici della sorgente

La caratterizzazione della matrice suolo insaturo è stata eseguita nel seguente modo: il primo campione da 0 a 1 m dal p.c.; il secondo nel metro che comprende la frangia capillare; gli altri campioni sono stati prelevati ogni 3 m intermedi tra il primo e l'ultimo metro.

Coerentemente con i Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio (APAT, 2008), lo strato Top Soil (CSS), sopra definito, costituisce la parte del Suolo Superficiale (SS), ovvero zona insatura compresa tra 0 e 1 m da p.c.. Il Suolo Intermedio (I) e Profondo (CFF) viene definito come la zona insatura che si estende a partire da 1 m da p.c..

Come criterio generale da applicarsi a ciascuna delle aree di potenziale contaminazione, si ricorda che l'affidabilità dell'approccio di tipo analitico è condizionata dal rispetto delle ipotesi e della geometria che sono alla base della soluzione analitica adottata (*Di Molfetta, 2012*). Per tale motivo, la “geometria reale” della sorgente inquinante sarà modificata in modo da ottenere una “geometria equivalente”, caratterizzata da una pressochè identica superficie e da una sezione ortogonale alla direzione del vento e della falda costante. Ai fini dell'applicazione dell'AdR, nei Criteri Metodologici per l'Applicazione dell'Analisi Assoluta di rischio (APAT, 2008), si specifica infatti che il volume della sorgente di contaminazione deve essere schematizzato come un parallelepipedo, del quale bisogna poter definire (*allegato VII*):

- l'estensione in direzione parallela alla direzione del flusso di falda;
- l'estensione in direzione ortogonale alla direzione del flusso di falda;
- l'estensione in direzione parallela alla direzione prevalente del vento;
- l'estensione in direzione ortogonale alla direzione prevalente del vento.

Profondità del piano di falda

La profondità del piano di falda su ogni sondaggio, è stata desunta dalla profondità di prelievo dell'ultimo campione (CFF), essendo stato definito, in fase di piano di caratterizzazione, di prelevare l'ultimo campione nel metro che comprende la frangia capillare.

Tale condizione, ha indotto a suddividere l'area oggetto di AdR, in tre settori (Area 1, Area 2 ed Area 3), in funzione della soggiacenza media della falda. Nello specifico, Area 1 con soggiacenza media pari a 6,00 m; Area 2 con soggiacenza media di 14,00 metri ed Area 3 con soggiacenza media pari a 25,00 metri.

Piovosità (P) e infiltrazione efficace (I_{eff})

I modelli di AdR e quindi anche il software utilizzato Risk-net 3.0, richiedono di inserire il valore della piovosità espresso come cm/anno. Al riguardo sono stati considerati i valori delle precipitazioni medie della stazione di Palermo – Villa Trabia, prelevati dagli annali idrologici, del servizio tecnico idrografico Regionale. Il valore medio di precipitazione annua, utilizzato come input al modello, equivale a 63,00 cm/anno.

L'infiltrazione efficace è stata computata utilizzando l'apposita funzione di calcolo di Risk-Net che relazione la piovosità alla tipologia di terreno selezionata. Tale parametro varierà quindi in funzione della litologia di terreno media individuata nel corso delle indagini ambientali riferite alla singola area di riferimento. L'espressione matematica di tipo empirico dell'infiltrazione utilizzata è:

$$I_{eff} = \beta \cdot P^2 \cdot \eta_{outdoor}$$

dove:

- P è la piovosità [cm/anno];
- η è la frazione areale di fratture outdoor;

- β è un coefficiente che tiene conto della litologia della matrice insatura.

Frazione areale di fratture outdoor (η_{outdoor})

Rappresenta il rapporto tra l'area delle fratture nella superficie pavimentata outdoor e l'area totale della stessa e può assumere valori in un range compreso tra 0 (superficie priva di fratture) e 1 (superficie priva di pavimentazione). Si è considerata tale frazione unitaria, ossia il caso più conservativo ai fini del calcolo del rischio sanitario.

5.2 Parametri caratteristici del suolo saturo

Conducibilità idraulica del terreno saturo (K_{sat})

La conducibilità idraulica a saturazione o coefficiente di permeabilità K_{sat} è una misura che indica la capacità di un terreno saturo di trasmettere l'acqua. In un terreno isotropo e omogeneo K_{sat} si assume costante.

La tessitura del terreno viene definita con riferimento alla classificazione dei terreni basata sul metodo dell'USDA. Nello specifico è stato utilizzato il valore di default relativo alla tipologia di terreno "SAND" (8.25×10^{-5} m/s) da cui derivano, una volta impostato il gradiente idraulico, i successivi parametri di:

Velocità di Darcy $v_{\text{gw}} = K_{\text{sat}} \cdot i = 7.9 \times 10^{-7}$ m/s;

Velocità media effettiva nella falda $v_e = v_{\text{gw}} / \theta_e = 1.29 \times 10^{-6}$ m/s

Porosità efficace del terreno in zona satura ($\theta_e \text{ sat} = 0.385$);

Spessore della zona di miscelazione in falda ($d_{\text{gw}} = 7.54$ m);

Fattore di diluizione in falda, (LDF = 8.64).

Gradiente idraulico (i)

I valori del gradiente idraulico sono generalmente del 3% - 5%, nel settore di monte ovvero nei Monti di Palermo, per raggiungere poi valori al di sotto dell'1% nei tratti della piana costiera di Palermo (Piano di Gestione Rischio Idrografico – 2016).

Frazione di carbonico organico nel suolo saturo (f_{oc})

Il terreno della zona saturo non è stato oggetto di caratterizzazione a causa dell'elevata soggiacenza della falda. E' stato adottato il valore di default proposto dal software pari a 0,001. Sulla

base dei valori di default riportati nei documenti di riferimento US EPA e ASTM, il valore di tale parametro nel saturo deve essere necessariamente inferiore a quello relativo all'insaturo.

5.3 Parametri caratteristici ambiente outdoor

Altezza della zona di miscelazione (δ_{air})

L'altezza della zona di miscelazione dell'aria è lo spessore di aria valutato dal piano campagna, nel quale avviene la miscelazione dei contaminanti, secondo ipotesi conservative, si assume $\delta_{air}=200$ cm, equivalente all'altezza, approssimata per eccesso, di un individuo adulto. E' stato quindi considerato il valore di default pari a 2 m.

Velocità e direzione prevalente del vento (U_{air})

Per quanto concerne la direzione e la velocità del vento sono stati utilizzati i dati del Servizio Informativo Agro-meteorologico Siciliano (SIAS) ovvero i dati meteorologici della stazione meteo Palermo Uditore (codice 276). I dati resi disponibili riguardano direzione e intensità del vento a quota 2 m (così come richiesto dai Criteri Metodologici ISPRA-APAT) relativi al decennio 2002-2012. Dall'elaborazione dei dati sono stati ottenuti direzione prevalente e velocità media del vento su base annuale:

Direzione Prevalente	Intensità a quota 2 m [m/s]
NW	0.84

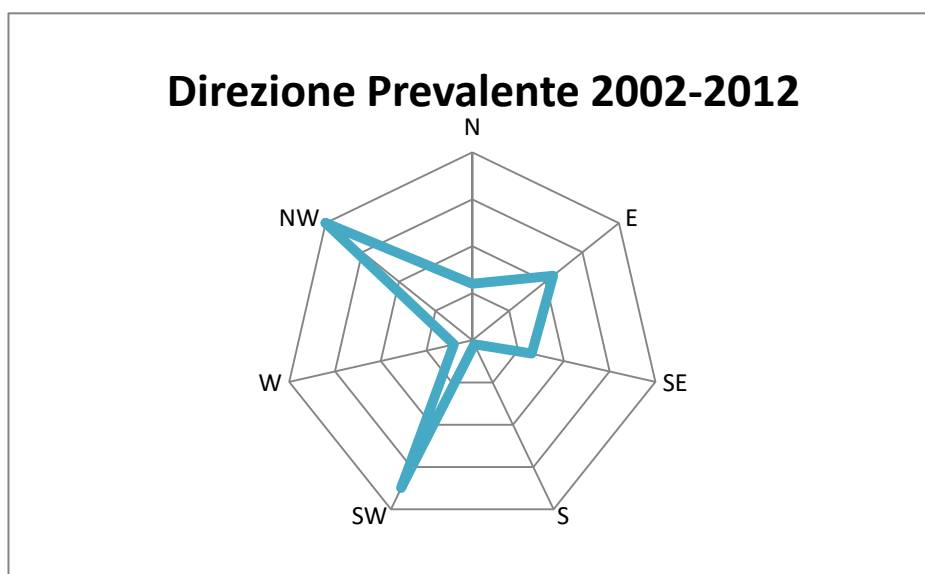


Figura 5 – Rosa dei venti Stazione meteorologica Palermo Uditore (codice 276).

La scelta è ricaduta su tale stazione di monitoraggio in quanto costituisce la più vicina alla zona di interesse, nella quale sono stati rilevati dati per almeno un decennio. Il *“Documento di riferimento per la determinazione e la validazione dei parametri sito specifici utilizzati nell'applicazione dell'analisi di rischio ai sensi del D. Lgs 152/06”* redatto da APAT, indica infatti la necessità di fare riferimento ad una serie storica di dati anemologici di almeno 10 anni.

La rosa dei venti di Figura 5, mostra come i fenomeni ventosi siano distribuiti prevalentemente lungo la direzione NW.

Per quanto concerne le velocità del vento, si è considerato come indicato nelle linee guida APAT 2008 il valore medio annuo pari a 0,84 m/s.

La velocità del vento richiesta dal software si riferisce al valore a 2 m di altezza da p.c..

Portata di particolato per unità di superficie (Pe)

Tale parametro indica la quantità di polveri emesse per unità di superficie e di tempo. Per tale parametro è stato considerato il valore di default del software $6,90 \times 10^{-14}$ g/(cm²s) e che corrisponde ai valori di default ISPRA e ASTM.

Tempo medio di durata del flusso di vapore (T_{outdoor})

Indica la durata di esposizione ai flussi di vapore e viene presa coincidente con la durata di esposizione ED. Per tale parametro è stato considerato il valore di default del software 25 anni e che corrisponde ai valori di default ISPRA e ASTM.

6. Parametri caratteristici aree di potenziale contaminazione

Come introdotto nei paragrafi precedenti, il sito oggetto della presente procedura, è stato suddiviso in 3 aree ciascuna caratterizzata da una omogenea soggiacenza della falda. L'AdR di secondo livello eseguita, è stata pertanto applicata a ciascuna delle 3 sorgenti di potenziale contaminazione, che in tal modo sono più facilmente considerabili come mezzi omogenei, coerentemente a quanto previsto dai modelli analitici di AdR.

I dati utilizzati per il calcolo delle concentrazioni soglia di rischio, ossia l'esito dell'applicazione dell'AdR in modalità backward, sono quelli di seguito indicati. Si premette inoltre che la concentrazione rappresentativa in sorgente (CRS), è stata calcolata mediante il software ProUcl 5.1

nel caso delle aree 1 e 2, nelle quali il numero di verticali di indagine era superiore a 10. Nel caso invece dell'area 3 si è considerato come valore di CRS, il valore massimo essendovi un numero di sondaggi inferiore a 10 (limite per poter applicare metodi statistici); in tale area inoltre non sono stati riscontrati superamenti delle concentrazioni dei contaminanti indicatori in corrispondenza della falda, la quale pertanto non sarà introdotta come sorgente secondaria di contaminazione.

In assenza di dati sito specifici circa i parametri chimico fisici delle matrici ambientali interessate, sono stati mantenuti i valori d default consigliati da ISPRA e già inseriti nel software.

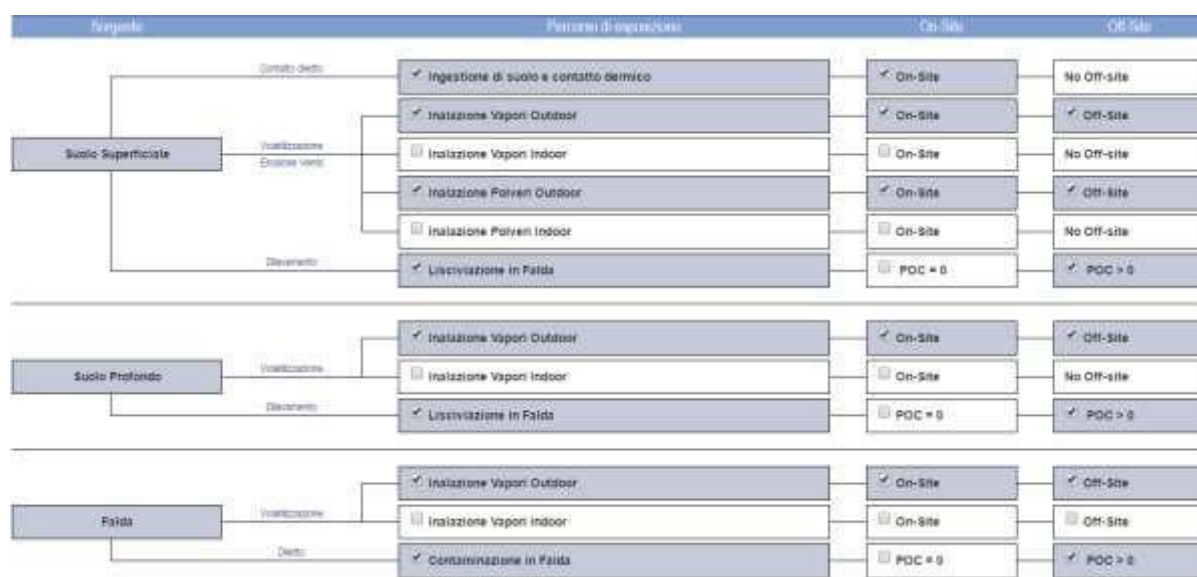
ZONA INSATURA			
Parametro	Simbolo	Valore	Note
Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo superficiale e profondo	F _{OC,ss/sp}	0.01 g-C/g-suolo	Valore di Default
pH	pH	8	Valore medio riscontrato nei RdP
Densità del suolo	ρ_s	1.7 g/cm ³	Valore di Default
Tessitura suolo		SAND	
Infiltrazione efficace	I _{ef}	7.14 cm/anno	Calcolato da Risk-Net in funzione della Precipitazione sito specifica
ZONA SATURA			
Parametro	Simbolo	Valore	Note
Estensione della sorgente nella direzione di flusso di falda-AREA 1	W	180 m	Si è considerata la massima estensione dell'area lungo la direzione principale di deflusso
Estensione della sorgente nella direzione di flusso di falda-AREA 2	W	160 m	Si è considerata la massima estensione dell'area lungo la direzione principale di deflusso
Estensione della sorgente nella direzione di flusso di falda-AREA 3	W	130 m	Si è considerata la massima estensione dell'area lungo la direzione principale di deflusso
AMBIENTE OUTDOOR			
Parametro	Simbolo	Valore	Note
Estensione della sorgente nella direzione principale del vento- AREA 1	W'	450	Si è considerata la massima estensione dell'area lungo la direzione principale del vento
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al vento-AREA 1	S _{w'}	140	Si è considerata la massima estensione dell'area lungo la direzione ortogonale a quella del vento
Estensione della sorgente nella direzione principale del vento- AREA 2	W'	350	Si è considerata la massima estensione dell'area lungo la direzione principale del vento
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al vento-AREA 2	S _{w'}	180	Si è considerata la massima estensione dell'area lungo la direzione ortogonale a quella del vento
Estensione della sorgente nella direzione principale del vento- AREA 3	W'	200	Si è considerata la massima estensione dell'area lungo la direzione principale del vento
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al vento-AREA 3	S _{w'}	120	Si è considerata la massima estensione dell'area lungo la direzione ortogonale a quella del vento
Distanza recettore off site (ADF)-AREA1	POE ADF	50 m	Si è considerato il recettore off site più prossimo
Distanza recettore off site (ADF)-AREA2	POE ADF	80 m	Si è considerato il recettore off site più prossimo
Distanza recettore off site (ADF)-AREA3	POE ADF	20 m	Si è considerato il recettore off site più prossimo
Coefficiente di dispersione trasversale-AREA 1	σ_y	7.92 m	Calcolato da Risk-Net avendo considerato il sito come Area Urbana, Classe D
Coefficiente di dispersione verticale-AREA 1	σ_z	6.95 m	Calcolato da Risk-Net avendo considerato il sito come Area Urbana, Classe D
Coefficiente di dispersione trasversale-AREA 2	σ_y	12.6 m	Calcolato da Risk-Net avendo considerato il sito come Area Urbana, Classe D
Coefficiente di dispersione verticale-AREA 2	σ_z	11.07 m	Calcolato da Risk-Net avendo considerato il sito come Area Urbana, Classe D
Coefficiente di dispersione trasversale-AREA 3	σ_y	3.19 m	Calcolato da Risk-Net avendo considerato il sito come Area Urbana, Classe D
Coefficiente di dispersione verticale-AREA 3	σ_z	2.79 m	Calcolato da Risk-Net avendo considerato il sito come Area Urbana, Classe D
Classe di stabilità Pasquill		Urbano D	Ci si è riferiti ai valori prevalentemente riscontrati nella città di Palermo

AREA 1			
Contaminanti Indicatori	CRS Suolo Superficiale mg/kg	CRS Suolo Profondo mg/kg	CRS Falda µg/l
Arsenico	14,16	12,59	
Piombo	111,8	80,97	
Stagno	19,14	16,55	
Zinco	90,56	84,29	
Mercurio		0,481	
Nichel		15,12	
Rame		61,58	
Tallio		0,295	
Vanadio		25,57	
Ferro			1725
Manganese			1500
Benzo (a) antracene	0,137	0,101	
Benzo (b) fluorantene	0,145	0,0904	0.28
Benzo (g, h,i) perilene	0,079	0,0589	0.23
Dibenzo (a,e) pirene	0,0517	0,0479	0.37
Indenopirene	0,0716	0,0489	0.19
Pirene	0,213	0,221	
Clordano	0,0824		
DDD, DDT, DDE	0,734	0,3	
Idrocarburi C>12	43,04	124,1	657
PCB	0,0754		
Dibenzo(a,h)antracene			0,043

AREA 2			
Contaminanti Indicatori	CRS Suolo Superficiale mg/kg	CRS Suolo Profondo mg/kg	CRS Falda µg/l
Arsenico	15,93	13,93	
Piombo	69,98		
Stagno	9,401	9,356	
Zinco	77,31	65,04	
Mercurio		0,426	
Nichel		25,91	
Rame		41,12	
Tallio		0,328	
Vanadio		27,53	
Manganese			66
Benzo (a) antracene	0,156	0,0951	
Benzo (b) fluorantene	0,139	0,0945	
Benzo (g, h,i) perilene	0,0485	0,0516	0.011
Dibenzo (a,e) pirene	0,0446	0,0333	
Indenopirene	0,0445	0,049	
Pirene	0,0856	0,639	
Clordano	0,0419		
DDD, DDT, DDE	0,965	0,0204	
Idrocarburi C>12	61,42	79,55	
PCB	0,0621		
Benzo(a)Pirene			0.015

AREA 3		
Contaminanti Indicatori	CRS Suolo Superficiale mg/kg	CRS Suolo Profondo mg/kg
Arsenico		25
Piombo	120	231
Stagno	28	35
Zinco	461	159
Mercurio	1.1	1.3
Nichel		353
Rame	121	
Tallio		
Vanadio		545
Ferro		
Manganese		
Benzo (a) antracene		
Benzo (b) fluorantene		
Benzo (g, h,i) perilene	0.11	0.21
Dibenzo (a,e) pirene		
Indenopirene		0.2
Pirene		
Clordano	0.15	
DDD, DDT, DDE	0.054	0.11
Idrocarburi C>12	92	729
PCB	0.14	
Dibenzo(a,h)antracene		0.36
Benzo(a)Pirene	0.18	0.36

Il modello concettuale del sito schematizzato risulta il seguente (per l'area 3 non sarà considerata la falda come sorgente secondaria) :



7. Calcolo delle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR)

Il calcolo degli obiettivi di bonifica (CSR) viene effettuato in automatico dal modello nell'impostazione modalità inversa di analisi. Il calcolo prevede alcuni passaggi, come ben descritto nei Criteri Metodologici per l'Applicazione dell'Analisi Assoluta di Rischio.

1. Calcolo dell'esposizione accettabile E_{acc} per il dato contaminante:

$$E_{acc} = TR / SF \text{ sostanze cancerogene}$$

$$E_{acc} = THQ \times RfD \text{ sostanze non cancerogene (tossiche)}$$

2. Calcolo della concentrazione accettabile al punto di esposizione C_{poe} :

$$C_{poe, acc} = E_{acc} / EM$$

3. Calcolo degli obiettivi di bonifica sito specifici:

$$CSR = C_{poe, acc} / FT$$

Quest'ultima, esplicitata diventa:

$$CSR = \frac{C_{poe, acc}}{FT} = \frac{E_{acc}}{EM \cdot FT} = \frac{TR}{SF \cdot EM \cdot FT} \text{ per sostanze cancerogene}$$

$$CSR = \frac{C_{poe, acc}}{FT} = \frac{E_{acc}}{EM \cdot FT} = \frac{THQ \cdot RfD}{EM \cdot FT} \text{ per sostanze non cancerogene}$$

Di seguito si riportano le concentrazioni soglia di rischio per ciascuna delle 3 aree in cui è stato suddiviso il sito oggetto della presente AdR. Come noto le CSR rappresentano quelle concentrazioni che devono essere garantite nel sito affinché i bersagli esposti non subiscano alcun rischio significativo di natura cancerogena o tossica. I risultati ottenuti si riferiscono alle sorgenti Suolo Superficiale, Suolo Profondo e Falda.

Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) per Area 1- Suolo Superficiale

Contaminante	CRS	CSR	CSC
	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Arsenico	1.42e+1	<u>3.89e-1</u>	2.00e+1
Piombo	1.12e+2	<u>7.28e+1</u>	1.00e+2
Stagno	1.91e+1	<u>1.29e+1</u>	1.00e+0

Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) per Area 1- Suolo Profondo

Contaminante	CRS	CSR	CSC
	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Arsenico	1.29e+1	<u>2.72e+0</u>	2.00e+1
Piombo	8.10e+1	<u>7.88e+1</u>	1.00e+2
Stagno	1.66e+1	<u>8.67e+0</u>	1.00e+0

Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) per Area 1- Falda

Contaminante	CRS	CSR	CSC
	µg/L	µg/L	µg/L
Benzo(b)fluorantene	2.80e-1	<u>1.00e-1</u>	1.00e-1
Benzo(g,h,i)perilene	2.30e-1	<u>1.00e-2</u>	1.00e-2
Indenopirene	1.90e-1	<u>1.00e-1</u>	1.00e-1
Alluminio	6.57e+2	<u>2.00e+2</u>	2.00e+2
Ferro	1.73e+3	<u>2.00e+2</u>	2.00e+2
Manganese	1.50e+3	<u>5.00e+1</u>	5.00e+1
Benzo(a)pirene	3.70e-1	<u>1.00e-2</u>	1.00e-2
Dibenzo(a,h)antracene	4.30e-2	<u>1.00e-2</u>	1.00e-2

Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) per Area 2- Suolo Superficiale

Contaminante	CRS	CSR	CSC
	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Arsenico	1.59e+1	<u>3.89e-1</u>	2.00e+1

Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) per Area 2- Suolo Profondo

Contaminante	CRS	CSR	CSC
	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Stagno	9.35e+0	<u>4.54e+0</u>	1.00e+0

Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) per Area 3- Suolo Superficiale

Contaminante	CRS	CSR	CSC
	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Piombo	1.20e+2	<u>7.28e+1</u>	1.00e+2
Stagno	2.80e+1	<u>1.60e+1</u>	1.00e+0

La tabella sopra evidenzia per il piombo una risultanza particolare in termini di concentrazione soglia di rischio; si è infatti ottenuto un valore di CSR>CSC. Alla base di tale risultato si può considerare il criterio di conservatività, che è fondamento di tutte le assunzioni dell'analisi di rischio, unitamente agli scenari di massima esposizione dei bersagli; ciò può portare in alcuni casi a situazioni come quelle qui verificatesi.

L'esito descritto non è sconosciuto nell'ambito della prassi applicativa dell'AdR, tanto è vero che il Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare si è espresso nel merito con apposite Linee Guida del 18/11/2014, nelle quali si conclude di fatto che in tali casi gli obiettivi di bonifica sono da considerarsi coincidenti con le CSC. Si riporta per chiarezza uno stralcio delle citate linee guida.

In conclusione si ritiene accettabile l'adozione da parte dei proponenti delle CSC come obiettivo di bonifica per alcune sostanze, con contestuale applicazione dell'analisi di rischio- sito specifica per le sole sostanze per le quali non si prevede il raggiungimento delle CSC.

Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) per Area 3- Suolo Profondo

Contaminante	CRS	CSR	CSC
	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Stagno	3.50e+1	<u>7.95e+0</u>	1.00e+0

Come si evince dalle precedenti tabelle di output, i contaminanti che determinano un superamento dei valori di rischio accettabili per la salute umana sono principalmente metalli e alcuni idrocarburi tipici dei processi di combustione dei motori diesel. Si ritiene che un significativo contributo possa essere dato dalla ingressione marina che può configurarsi come vettore di tali sostanze verosimilmente originatesi dalle imbarcazioni che transitano in mare.

8. Conclusioni

L'area oggetto della presente AdR, occupa una posizione geografica del tutto particolare. Come detto nei paragrafi precedenti, la zona dell'ex Discarica Acqua dei Corsari, è stata creata in maniera del tutto artificiale, alla fine degli anni '60, quando, l'asportazione di tutte le macerie degli edifici abbattuti durante le guerre nella città di Palermo, portava alla necessità di trovare aree dove poter scaricare l'ingente quantitativo di macerie rimosso nelle zone del centro urbano. L'ex discarica dell'Acqua dei Corsari, ha rappresentato per molti anni un sito scelto dove accumulare tutte le suddette macerie.

Dal punto di vista geologico, nella zona del quartiere Acqua dei Corsari, affiorano principalmente terreni afferibili alla Formazione Geologica dei *"Depositi Alluvionali Terrazzati di Fondovalle (travertini)"*. Questi terreni, sono stati letteralmente ricoperti da migliaia e migliaia di metri cubi di materiale di riporto eterogeneo costituito da sfabbricidi, blocchi di cemento, limo e sabbia, alterando in maniera rilevante le caratteristiche litologiche dei terreni affioranti.

Dal punto di vista idrogeologico, l'area di Acqua dei Corsari, rappresenta sicuramente una zona molto complicata, per via delle vicissitudini collegate all'interferenza della falda acquifera presente nella piana di Palermo, fortemente alimentata dagli afflussi sotterranei provenienti dai Monti di Palermo, e le acque marine

Negli acquiferi costieri, direttamente a contatto con le acque del mare, si manifesta molto spesso il fenomeno dell'intrusione dell'acqua marina. La superficie teorica di separazione tra i due liquidi, che hanno diversa densità, è chiamata "interfaccia", in realtà si tratta di una zona di mixing fra acqua dolce e acqua marina. Poiché l'acqua dolce sovrasta per densità l'acqua salata marina più densa, la superficie di interfaccia è concava verso l'alto e spesso ha, come limite inferiore, la base dell'acquifero. La variabile che definisce la forma di questa superficie è il volume di acqua dolce che l'acquifero scarica in mare; maggiore è tale apporto, minore è l'avanzamento delle acque marine verso l'entroterra.

I rapporti tra acqua dolce ed acqua marina rappresentano, quindi, un equilibrio naturale che può essere facilmente alterato nel caso di diminuzione delle acque di infiltrazione o di sovrasfruttamento della falda idrica nelle aree a monte. Nel caso dell'acquifero della Piana di Palermo, a causa dell'elevato sfruttamento delle risorse, si riduce il volume idrico che fluisce verso la linea di costa, con la conseguente progressione verso l'entroterra delle acque del mare (intrusione o ingressione marina) e salinizzazione progressiva della falda. Da quanto evidenziato si deduce che, in assenza di sostanziali diminuzioni degli apporti idrici naturali, la causa principale dell'insalinamento per intrusione marina è da attribuire allo sfruttamento delle acque sotterranee ed in particolare al fatto che i prelievi superano la ricarica idrica annuale.

Più di uno studio idrogeologico condotto sull'acquifero costiero di Palermo, ha individuato, seppur indirettamente, la condizione di sovrasfruttamento dei prelievi idrici rispetto alla risorsa effettivamente rinnovabile annualmente.

In questi studi si segnalano fenomeni d'ingressione marina, evidenziati dagli elevati valori di conducibilità e di concentrazione di cloruri delle acque di alcuni pozzi costieri e dalla bassissima resistività dei terreni investigati nel sottosuolo della zona più prossima alla linea di costa.

Nel nostro caso, l'ingressione delle acque marine nella zona dell'ex discarica di Acqua dei Corsari, è resa evidente dal confronto dei risultati delle analisi chimiche eseguite sui campioni di acqua prelevati nell'area della discarica (PZ02, PZ04, PZ05 e PZ06) e nell'area esterna (bianca) nel sondaggio PZ01. In tutti e cinque i campioni di acqua prelevati nei sondaggi è evidente la presenza di solfati, legata proprio al fenomeno dell'ingressione delle acque marine.

Va evidenziato, ancora, che l'area dell'ex discarica di Acqua dei Corsari, è situata anche in prossimità del porto di Palermo, dove giornalmente il traffico di barche, pescherecci, navi passeggeri e navi merci è abbastanza intenso. Ciò comporta sicuramente la dispersione in mare di diverse sostanze e materiali inquinanti, che in soluzione nelle acque marine, le "arricchiscono" di diversi elementi chimici altrimenti estranei.

I principali analiti che hanno superato la CSR, sono:

Metalli pesanti – Sn, Pb e As, - Per quanto riguarda la eccessiva presenza dell'elemento Stagno (Sn) sia nel SS che nel SP, in concentrazione superiore al valore di cui alla *tabella 1A, Allegato 5 Titolo V del D. Lgs. 152/06*, va ricordato come la problematica del valore "1 mg/kg", sia ben nota agli ambienti scientifici italiani, e che rappresenta un "paradosso" della normativa italiana. Lo Stagno, infatti, è presente in natura nei suoi minerali più diffusi, Cassiterite e Stannite, ed è generalmente

presente in terreni di origine sedimentaria come argille e calcari, da 4 a 6 mg/kg, arenarie 3mg/kg e che nelle torbe può raggiungere anche valori superiori ai 300mg/kg. Pertanto, a parere dello scrivente, il superamento del valore sia nella CSS che nella CSR non rappresenta sicuramente un potenziale rischio di contaminazione dei terreni, lo stagno, peraltro, rispetto agli altri metalli pesanti, non è certamente il più “pericoloso”. Allo stato attuale, la singolarità della normativa italiana, ovvero del limite di 1mg/kg, assegnato allo Stagno per le aree a destinazione verde-residenziale determina, per legge, che tutti i suoli d'Italia siano “potenzialmente contaminati” da Stagno.

Per quanto riguarda gli altri metalli pesanti presenti sui terreni, ovvero Piombo ed Arsenico, possono avere sia origini naturali che antropici; molti metalli, per processi naturali, possono trovarsi nei terreni, sempre trasportati dalle acque a seguito di processi di dissoluzione chimica delle rocce. I processi antropici di produzione di metalli pesanti sono da imputare principalmente alle attività civili ed industriali, nello specifico, detti metalli sono tipici dei processi di combustione dei motori diesel. Si ritiene che un significativo contributo possa essere dato dalla ingressione marina che può configurarsi come vettore di tali sostanze verosimilmente originatesi dalle imbarcazioni che transitano in mare.

Discorso analogo, è da sottolineare per quanto riguarda la presenza di alcuni idrocarburi nelle acque di falda. Nello specifico, a parere dello scrivente, le acque intercettate nei sondaggi a piezometro ubicati nell'area 1, ovvero in quella prossima alla linea di battigia del mare, rappresentano già di per se le acque marine, data l'estrema vicinanza alla linea di costa.

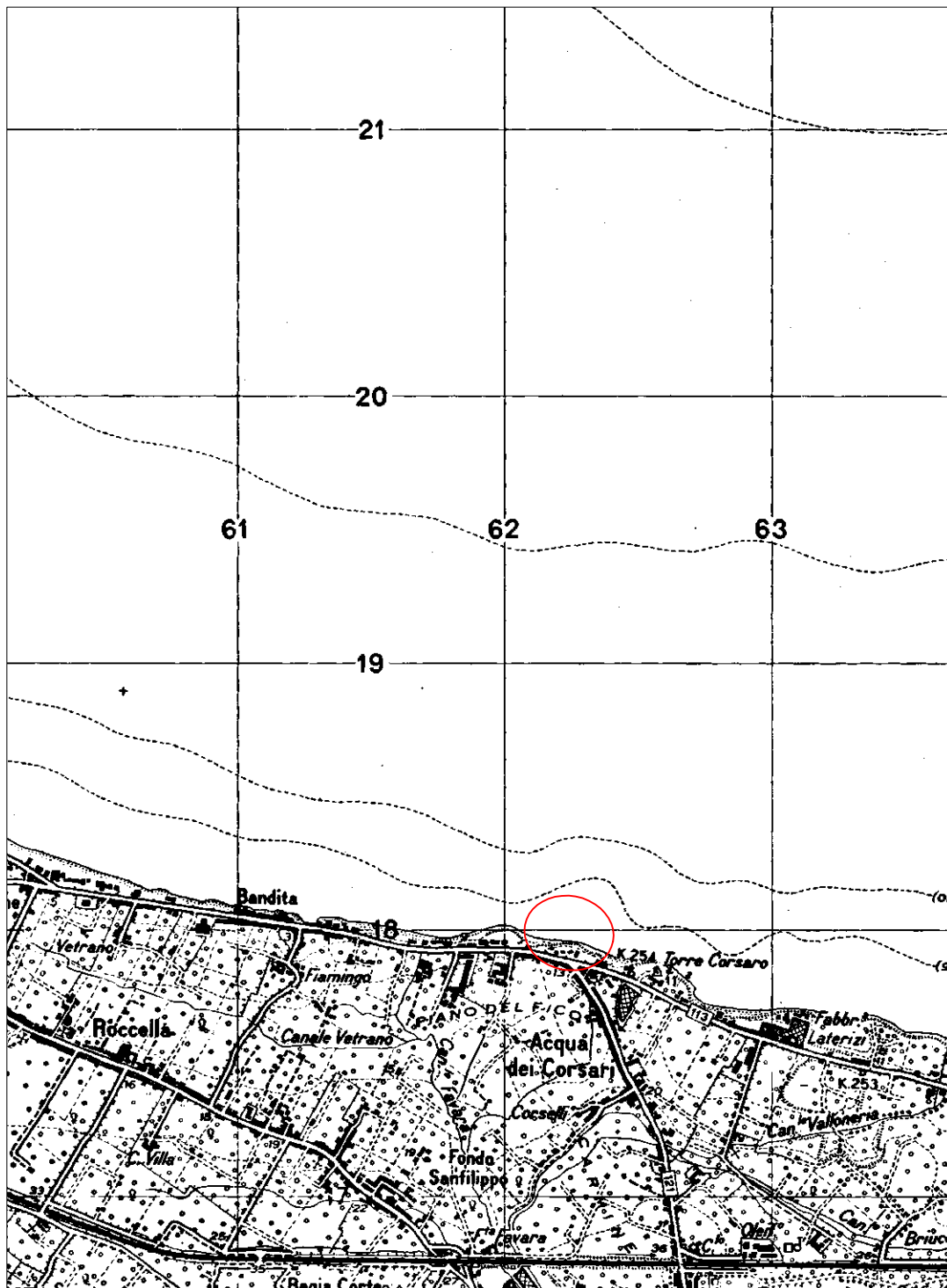
In definitiva, a parere dello scrivente, considerato che nell'area dell'ex discarica di Acqua dei Corsari è evidente il fenomeno dell'ingressione delle acque marine, che le stesse, per la particolare collocazione del sito, sono particolarmente “arricchite” di numerose sostanze inquinanti presenti in soluzione nelle acque marine, che l'unico fenomeno di natura morfologica a cui è soggetta l'area è quello dell'escursione del livello marino e soprattutto del moto ondoso, la presenza nel SS, nel SP e nelle acque di falda dei suddetti elementi inquinanti, è da imputare principalmente al trasporto e deposito nei terreni da parte dell'acqua marina.

Campofelice di Roccella 25/08/2018

Il Geologo
Dr. Gandolfo Ilarda
(O.R.G. Sc. 25/08/2018)

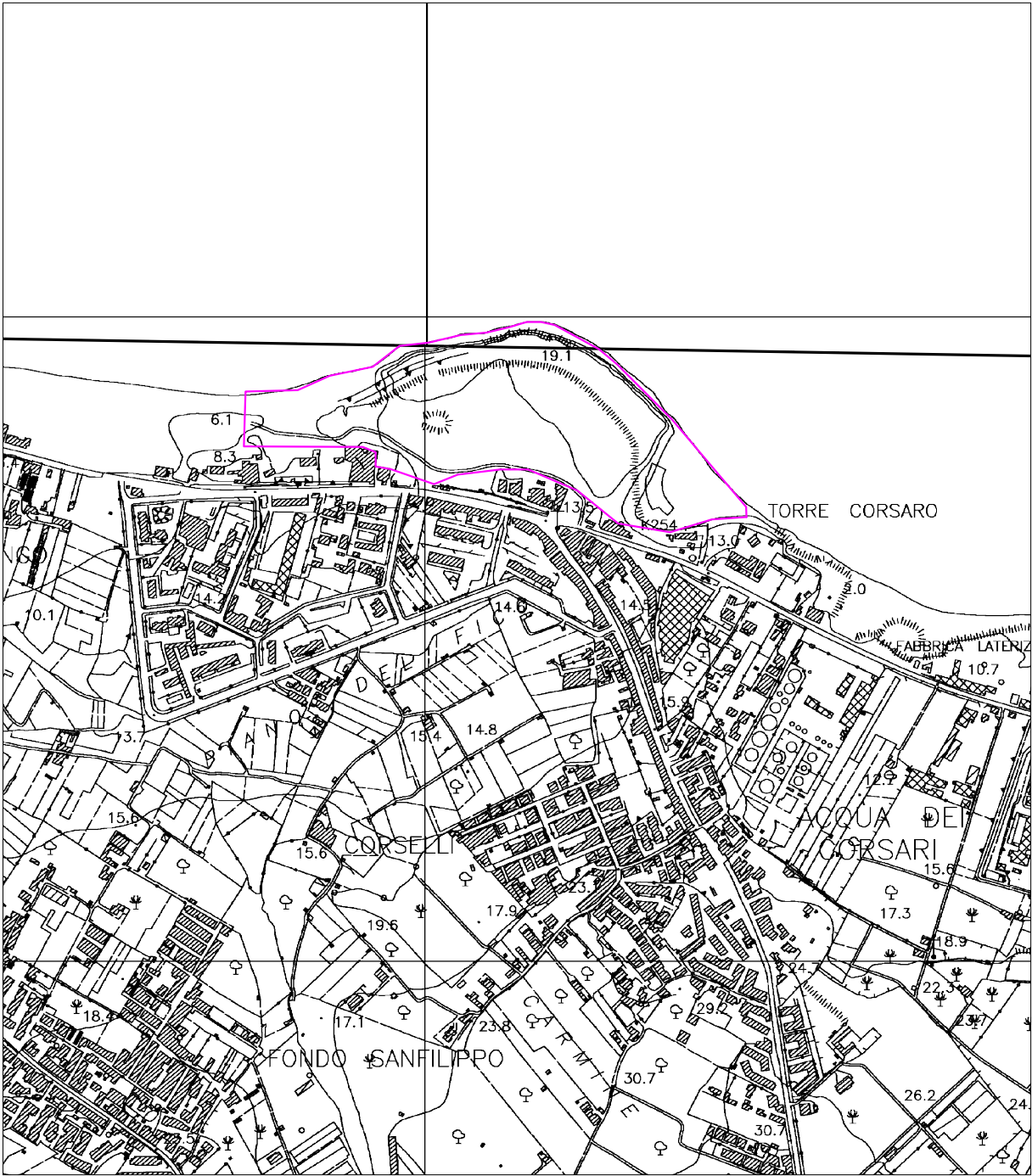
(Firmata digitalmente)

ALLEGATO I
Stralcio Tavoleta Topografica
I.G.M. Palermo II N.E.
Scala 1:25.000



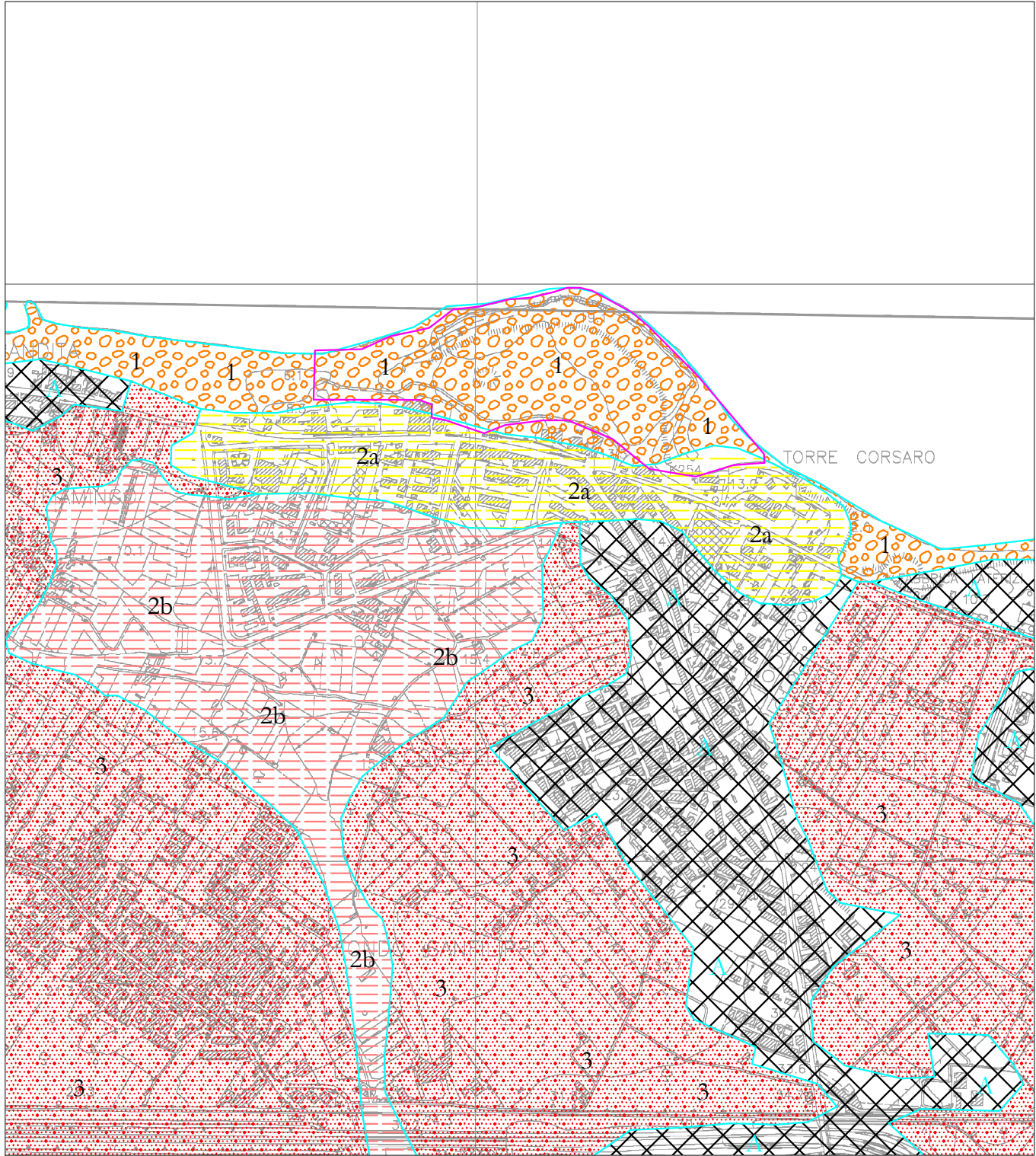
Ubicazione area di studio

ALLEGATO II
Stralcio Carta Tecnica Regionale
C.T.R. Villabate 595100
Scala 1:10.000



Ubicazione area di studio

ALLEGATO III
Carta Geologica
Scala 1:10.000



LEGENDA

- A

Aree urbanizzate
- 1

Riporto eterogeneo costituito da sfabbricidi, blocchi di cemento, limo e sabbia (Recente)
- 2a

Depositi ed alluvioni di fondovalle - Travertini (Pleistocene sup. - Olocene)
- 2b

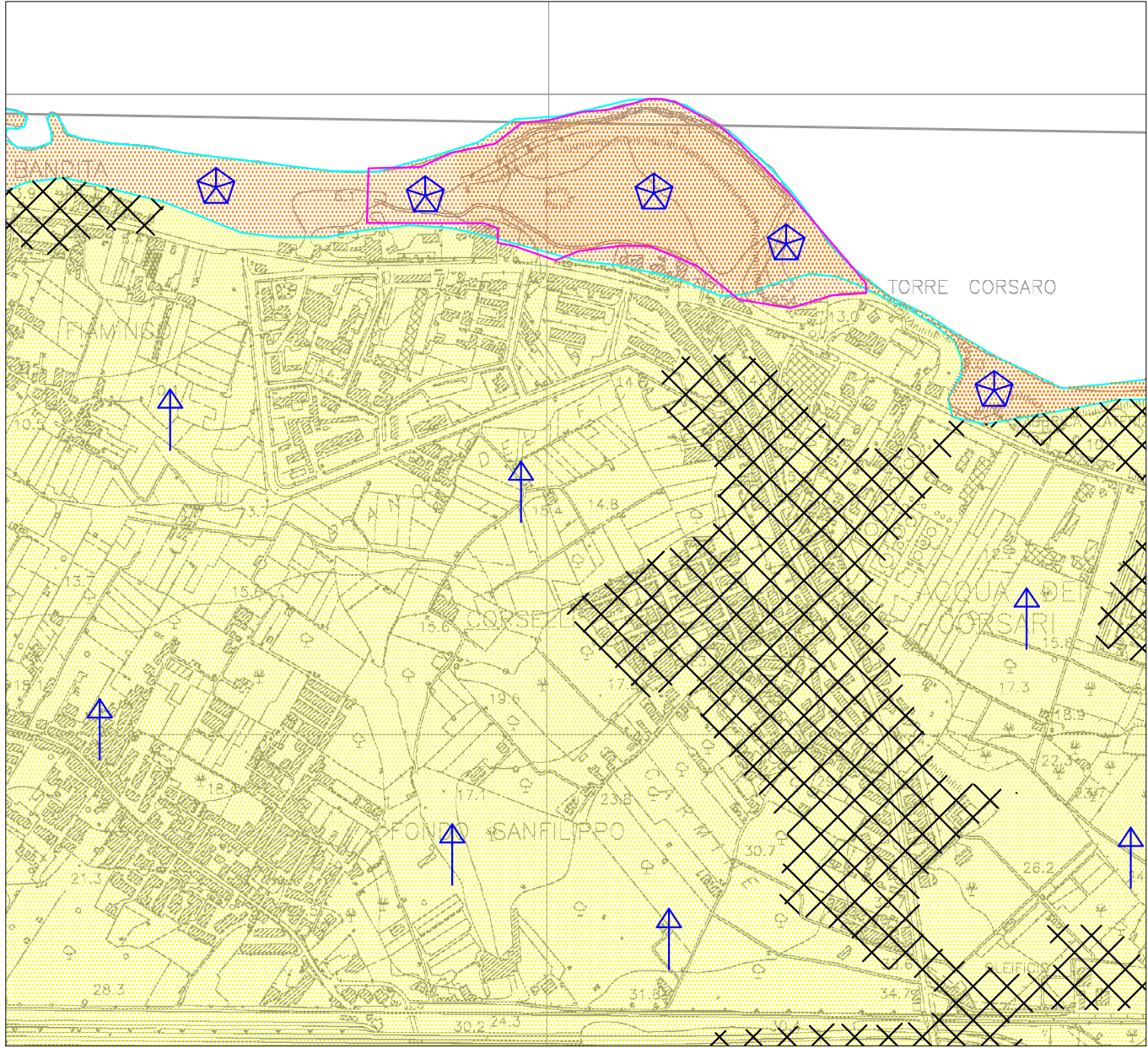
Depositi alluvionali di fondovalle - (Pleistocene sup. - Olocene)
- 3

Calcareniti e calcirutiti giallo-rossastre a stratificazione incrociata (Emiliano-Siciliano)
- Limite litostratigrafico
- Faglia
- Area d'interesse

ALLEGATO IV

Carta Idrogeologica

Scala 1:10.000



LEGENDA

- A Aree urbanizzate
- Permeabile per porosità verticale
- Permeabile per porosità e/o fessurazioni
- Limite idrogeologico
- Scorrimento idrico con andamento verticale
- Linea di scorrimento idrico da monte verso valle
- Area d'interesse

ALLEGATO V

Stralcio aerofotogrammetrico con ubicazione dei sondaggi

Scala 1:2.000



- S_x

Sondaggio meccanico
- PZ_x

Sondaggio meccanico con piezometro