

Cliente: ENEL Produzione UBT Priolo Gargallo

Oggetto: Piano di Caratterizzazione della centrale termoelettrica ENEL Produzione di Augusta (SR)
Relazione tecnica delle indagini svolte

Ordine: E-Mail di Cochis del 08-05-03

Note: Attività EP-OQ-SUOLI AUGUSTA – 37659I

senza l'autorizzazione scritta del CESI questo documento può essere riprodotto solo integralmente

N. pagine: 73

N. pagine fuori testo: 172

Data: 25 /09/2003

Elaborato: B.U. Ambiente – Territorio

R. Garavaglia - D. Lattuada

Verificato: B.U. Ambiente – Territorio

R. Ferraroli

Approvato: B.U. Ambiente – Territorio

R. Ferraroli

Indice

RIASSUNTO	4
1 DESCRIZIONE DEL SITO IN ESAME.....	5
1.1 TIPOLOGIA DEL SITO.....	5
1.2 STORIA DELL'IMPIANTO.....	6
1.3 TIPOLOGIA DEI PROCESSI.....	7
1.4 ATTIVITÀ, OPERAZIONI, SITUAZIONI E SOSTANZE AMBIENTALMENTE RILEVANTI.....	8
1.5 EPISODI AMBIENTALMENTE RILEVANTI RISCONTRATI IN PASSATO	13
2 INQUADRAMENTO AMBIENTALE DEL SITO	14
2.1 ASSETTO GEOGRAFICO-TERRITORIALE	14
2.2 MORFOLOGIA DI SUPERFICIE	14
2.3 METEOROLOGIA	14
2.4 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	14
2.4.1 <i>Scala regionale</i>	15
2.4.2 <i>Scala locale</i>	15
2.5 ASSETTO IDROGEOLOGICO.....	16
2.5.1 <i>Scala regionale</i>	16
2.5.2 <i>Scala locale</i>	17
2.5.3 <i>Qualità delle acque sotterranee</i>	18
2.6 ASSETTO IDROGRAFICO	19
2.7 DESTINAZIONE D'USO PREVISTA DAGLI STRUMENTI URBANISTICI	21
2.8 OBIETTIVI DI RECUPERO DELL'AREA IN FUNZIONE DEI RIFERIMENTI NORMATIVI E DELLA DESTINAZIONE D'USO	21
3 CAMPAGNA DI CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE.....	25
3.1 METODOLOGIE DI INDAGINE DEL SUOLO/SOTTOSUOLO E ACQUE SOTTERRANEE.....	25
3.1.1 <i>Ubicazione delle indagini</i>	25
3.1.2 <i>Esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo</i>	28
3.1.3 <i>Profondità dei sondaggi</i>	30
3.1.4 <i>Prelievo di campioni di terreno mediante sondaggi a carotaggio continuo</i>	31
3.1.5 <i>Prelievo di campioni di terreno superficiale destinate alla determinazione di Diossine e Furani</i>	34
3.1.6 <i>Prove di permeabilità tipo Lefranc</i>	34
3.1.7 <i>Installazione di piezometri</i>	35
3.1.8 <i>Misure di soggiacenza della falda</i>	36
3.1.9 <i>Prelievo di campioni di acque di falda</i>	37
3.1.10 <i>Misure in sito di parametri di qualità dell'acqua</i>	39
3.2 INTERVENTI DI EMERGENZA ADOTTATI A SEGUITO DELLA SCOPERTA DELLA CONTAMINAZIONE DA PRODOTTI PETROLIFERI.....	39
3.3 DETERMINAZIONI ANALITICHE	41
3.3.1 <i>Parametri da determinare</i>	41
3.3.2 <i>Procedure di laboratorio</i>	41
4 RISULTATI DELLE INDAGINI CONDOTTE.....	47
4.1 STRATIGRAFIA DEL SITO.....	47
4.2 IDROGEOLOGIA DEL SITO.....	49
4.3 CARATTERIZZAZIONE FISICA DELLA FALDA SEMICONFINATA.....	50
4.4 MISURE IN SITO DI PARAMETRI DI QUALITÀ DELL'ACQUA.....	51
4.5 DEFINIZIONE DELLA SUPERFICIE PIEZOMETRICA.....	52
4.6 PRESENZA DI SURNATANTE	53

4.7	CARATTERIZZAZIONE DEL SURNATANTE	55
4.8	RISULTATI DELLE INDAGINI E CONFRONTO CON I LIMITI NORMATIVI	57
4.8.1	<i>Terreni</i>	57
4.8.2	<i>Acque della falde superficiale e semi-confinata</i>	59
4.8.3	<i>Acque della falda profonda</i>	63
5	FORMULAZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE DEL SITO	64
5.1	SINTESI DELLO STATO QUALITATIVO DELL'AREA.....	64
5.2	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DELL'ACQUIFERO CONTAMINATO	65
5.3	CARATTERISTICHE E COMPORTAMENTO CHIMICO-FISICO DEI PRODOTTI CONTAMINANTI	65
5.3.1	<i>Composti di origine petrolifera</i>	65
5.3.2	<i>Diossine</i>	67
5.4	PERCORSI DI MIGRAZIONE E VIE DI ESPOSIZIONE DEI POSSIBILI BERSAGLI.....	69
5.4.1	<i>Composti di origine petrolifera</i>	69
5.4.2	<i>Ulteriori considerazioni circa le possibili vie di migrazione dei contaminanti</i>	71
5.4.3	<i>Diossine</i>	71

ELENCO DELLE TAVOLE FUORI TESTO

ALLEGATO 1 PROT. A3/028765 Rapporto sulle Indagini Dirette e sulle Prove di Permeabilità in Foro eseguite sul sito della Centrale ENEL di Augusta nell'ambito del Piano della Caratterizzazione Ambientale. Tot. pagg. 88.

ALLEGATO 2 PROT. A3/025165. Determinazione di alcuni composti inorganici previsti dal DM 471/99 in campioni di terreno. Tot. pagg. 11.

ALLEGATO 3 PROT. A3/027200. Determinazione di alcuni composti organici previsti dal DM 471/99 in campioni di terreno. Tot. pagg. 19.

ALLEGATO 4 PROT. A3/025164. Determinazione di umidità e frazione granulometrica <2mm in campioni di terreno. Tot. pagg. 3.

ALLEGATO 5 PROT. A3/024735. Determinazione di alcuni composti inorganici previsti dal DM 471/99 in campioni di acque sotterranee. Tot. pagg. 4.

ALLEGATO 6 PROT. A3/027403. Determinazione di alcuni composti organici previsti dal DM 471/99 in campioni di acque sotterranee. Tot. pagg. 7.

ALLEGATO 7 PROT. A3/024736. Determinazione di alcuni composti inorganici previsti dal DM 471/99 in campioni di acque di pozzo di Centrale. Tot. pagg. 2.

ALLEGATO 8 PROT. A3/027401. Determinazione di alcuni composti organici previsti dal DM 471/99 in campioni di acque di pozzo di Centrale. Tot. pagg. 3.

ALLEGATO 9 PROT. A3/029061. Rapporti di Prova laboratorio EcoCenter relativi alla determinazione di Diossine e Furani. Tot. pagg. 3.

STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	25/09/2003	A3/028780	Prima Emissione

RIASSUNTO

La centrale ENEL di Augusta è stata inserita nel programma nazionale di bonifica e ripristino ambientale dei siti inquinati, soggetti ad interventi di interesse nazionale, mediante la Legge n° 426 del 9 dicembre 1998. A seguito del disposto di legge, è stato elaborato un Piano di Caratterizzazione che dettaglia le indagini da mettere in atto per permettere di definire tipo, grado ed estensione dell'eventuale inquinamento presente presso il sito.

Il documento di Piano di Caratterizzazione e le successive integrazioni sono state approvate in sede di Conferenza di Servizi "decisoria" tenutasi presso gli uffici della Prefettura di Siracusa in data 20 gennaio 2003.

Nella presente relazione vengono descritte le attività di indagine che sono state eseguite presso la Centrale di Augusta, per la realizzazione del Piano di Indagini previsto.

Nel periodo dal 15 maggio al 26 giugno 2003, sono stati eseguite le attività geognostiche, mediante trivellazioni meccaniche e prelievo di campioni di terreno, e i prelievi di campioni di acque di falda.

Le analisi chimiche quantitative dei campioni così prelevati sono state eseguite da CESI - B.U. Ambiente.

I risultati delle determinazioni analitiche quantitative sui campioni di terreno e di acque di falda sono riportati nei Rapporti di Prova in Allegato.

Vengono presentate le elaborazioni pertinenti dei risultati ottenuti.

L'area indagata risulta interessata da una contaminazione da parte di sostanze di origine petrolifera.

La natura dei contaminanti, l'ubicazione dell'area contaminata e le considerazioni idrauliche, indicano che la contaminazione ha origine esterna alla Centrale.

1 DESCRIZIONE DEL SITO IN ESAME

1.1 Tipologia del sito

La Centrale Termoelettrica di Augusta, che occupa una superficie complessiva di circa 11 ettari, è situata in Contrada Bufalara, all'interno della Zona Industriale di Augusta, nel Comune di Augusta, Provincia di Siracusa.

L'impianto è così delimitato:

NORD e OVEST	dalla strada vicinale Bufalara, che la separa dal deposito combustibili della società ESSO Italia;
SUD	dal letto del Torrente Cantera, oltre il quale si trova il sito archeologico della città greca di "Megara Hyblaea", sottoposto a vincolo di tutela;
EST	dalla linea ferroviaria Catania – Siracusa.

La collocazione geografica della centrale è mostrata nella ortofotografia della Figura 1.



*Figura 1: ortofotografia dell'area circostante la centrale termoelettrica ENEL di Augusta
(fonte: Sito Ufficiale Cartografia Regionale Dipartimento Urbanistica www.cartosicilia.it)*

La corografia dell'area è riportata nella planimetria della Tavola I.

L'impianto è dedicato alla produzione di energia elettrica tramite l'uso di olio combustibile.

Per una descrizione sintetica ma di facile e immediata lettura del sito e delle opere in essere, si fa riferimento alla planimetria dell'impianto riportata nella Tavola II. Su di essa sono evidenziate il perimetro dello stabilimento e la disposizione delle varie pertinenze dell'insediamento di seguito illustrate:

- opera di presa dell'acqua di raffreddamento, con testata situata a circa 500 metri dalla riva, su fondale di 7-8 metri;

- opera di restituzione dell'acqua di raffreddamento, che sbocca nel mare in prossimità della foce del Torrente Cantera;
- impianto di trattamento delle acque costituito da due sezioni: trattamento di acque inquinabili da oli (impianto di disoleazione) e trattamento di acque reflue acide e alcaline (I.T.A.R.);
- serbatoi per lo stoccaggio dei combustibili liquidi;
- area stazione elettrica;
- deposito oli lubrificanti e altro.

Tutti gli impianti industriali e le opere connesse sono concentrati nella parte est dell'area di proprietà ENEL. La parte ovest della proprietà non ospita impianti produttivi; in essa sono stati ubicati edifici ausiliari (mensa, magazzini) e, negli anni iniziali dell'attività dell'impianto, alcune abitazioni civili, da tempo abbandonate. Inoltre sono rimaste presenti alcune strutture risalenti alle attività agricole precedenti la costruzione dell'impianto.

È da notare che la zona compresa tra la linea di costa e la ferrovia Siracusa-Catania è di proprietà del Demanio, con tutte le opere non amovibili presenti. L'opera di presa acqua di mare ed il canale adduttore su pontile ricadono interamente su acque demaniali ed in parte sulla battigia; anche il diffusore di restituzione delle acque del circuito di raffreddamento ricade in parte su terreno demaniale. La costruzione dei manufatti, all'epoca, è stata oggetto di concessione da parte della Capitaneria di Porto di Augusta; tale concessione è rinnovata attualmente ogni quattro anni (concessione N. 1097/94).

1.2 Storia dell'impianto

La centrale di Augusta è stata costruita a cavallo tra la fine degli anni '50 e l'inizio degli anni '60 dalla Società Generale Elettrica della Sicilia (SGES). L'area era precedentemente occupata da attività esclusivamente agricole (agrumeti).

Il progetto iniziale della centrale (denominata Centrale Tifeo) prevedeva tre gruppi identici da 70 MW ciascuno, alimentati da olio combustibile, gas naturale e carbone, per una potenza elettrica totale di 210 MW. All'interno dell'area della centrale è stata realizzata una centrale ausiliaria con turbine a gas con generatori a pistoni liberi con lo scopo di alimentare i servizi ausiliari della centrale principale. Questa centrale non è più attiva.

L'assetto della centrale nei primi anni dalla sua realizzazione è illustrato nella planimetria riportata nella Tavola III. Nel periodo da allora intercorso, gli impianti non hanno subito modifiche rilevanti: sono rimasti immutati sia la potenza installata che l'assetto impiantistico, mentre tra i combustibili inizialmente previsti si utilizza solo l'olio combustibile.

Si riportano di seguito in forma tabellare i dati relativi alla produzione annuale complessiva e di consumo di combustibili della centrale.

Anno	Produzione globale (GWh)		Combustibile
	lorda	netta	OCD (t)
1995	516	480	128.284
1996	695	652	170.288
1997	1.036	977	254.426
1998	899	851	218.919
1999	838	794	205.528
2000	508	481	127.062
2001	343	323	86.650
2002	771	727	191.176

Tabella 1 - Profilo produttivo e consumo di combustibili della centrale

1.3 Tipologia dei processi

La Figura 2 rappresenta lo schema del processo produttivo, evidenziando in particolare quali sono i prodotti “in entrata” e quali quelli in “uscita”; lo stabilimento quindi viene considerato come una “scatola nera”, in cui tutti gli input sono destinati a diventare output seguendo diverse trasformazioni ma mantenendo inalterate le quantità.

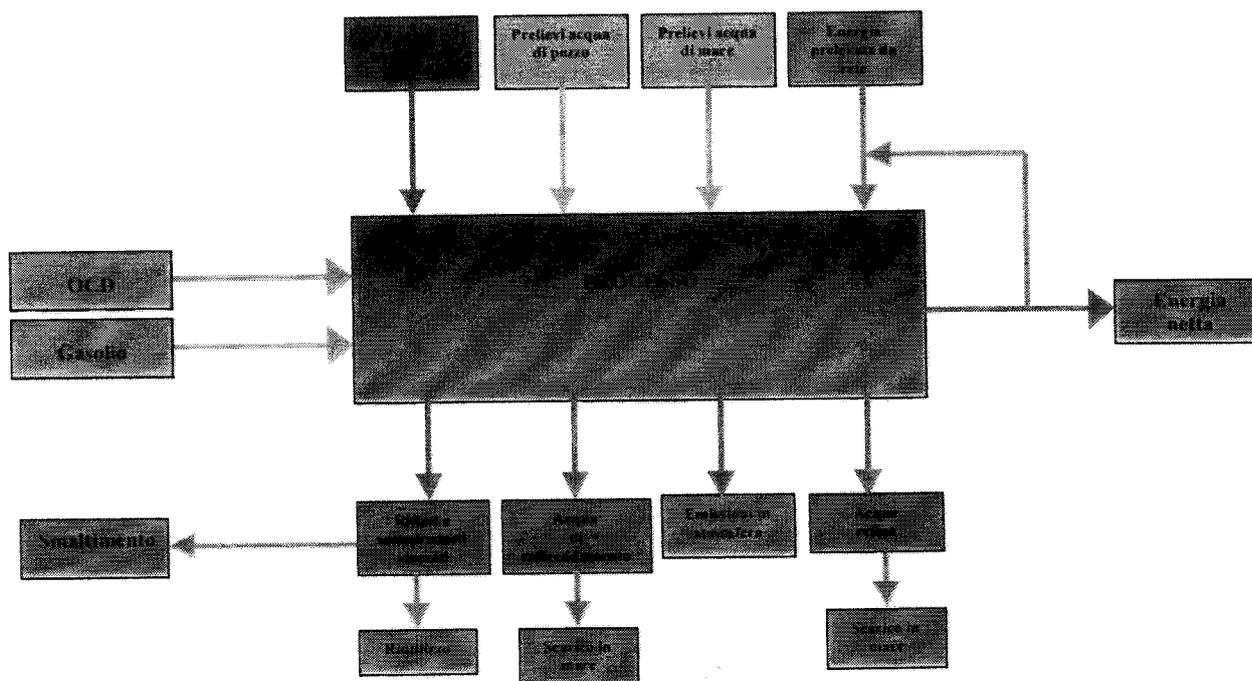


Figura 2: diagramma a blocchi del processo produttivo

Nella Tabella 2 sono riportati i dati di input (le quantità in entrata) per le materie prime impiegate. L'intervallo di tempo considerato è compreso tra il 1995 e il 2002.

COMBUSTIBILI									
	Unità di misura	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
OCD	t	128.284	170.288	254.426	218.919	205.528	127.062	86.650	191.176
Gasolio	t	268	317	274	292	188	190	155	134
ACQUA									
Prelievo da pozzi (industriale e potabile)	m ³	1.017.190	1.059.066	1.574.557	949.157	997.525	645.921	696.187	605.431
Prelievo da mare per raffreddamento	Mm ³	235	305	395	360	340	113	85	175

Tabella 2: Consumi di materie prime (dati di input)

1.4 Attività, operazioni, situazioni e sostanze ambientalmente rilevanti

Per rendere più semplice e immediata la lettura e l'individuazione delle attività ambientalmente rilevanti, sono state realizzate delle schede descrittive per ciascuna di esse, in cui sono evidenziate anche le sostanze tossiche e nocive impiegate.

In generale le attività connesse al processo produttivo, ambientalmente rilevanti sono:

- movimentazione dei combustibili;
- stoccaggio del combustibile;
- stoccaggi di materiali e sostanze (escluso rifiuti);
- uso di materiali e sostanze;
- stoccaggio di rifiuti pericolosi in siti autorizzati;
- raccolta e deposito temporaneo di rifiuti;
- movimentazione e stoccaggio delle ceneri;
- raccolta accumulo e trattamento delle acque inquinate;
- prelievo acque di falda.

L'acqua di raffreddamento, che costituisce la quasi totalità dell'acqua consumata dalla centrale, è prelevata esclusivamente dal mare (mar Ionio). L'acqua di processo e quella destinata ad altri usi è prelevata dai 5 pozzi di centrale.

Le acque di processo sono inviate all'impianto per la neutralizzazione e la chiari-floculazione, quelle potenzialmente inquinate da oli sono inviate alla disoleazione, dopo il trattamento vengono scaricate nel mare (in corrispondenza della foce del Torrente Cantera).

Le acque di raffreddamento e quelle meteoriche non inquinate recapitano anch'esse nell'opera di restituzione, situata nei pressi della foce del Torrente Cantera.

MOVIMENTAZIONE DEI COMBUSTIBILI	
Operazione	Descrizione
Scarico e trasferimento al deposito di impianto dell'olio combustibile denso	L'approvvigionamento di olio combustibile avviene mediante un oleodotto in cunicolo ispezionabile direttamente dall'adiacente deposito ESSO Italia o tramite autobotti. L'olio combustibile viene stoccato in 5 serbatoi per una capacità complessiva di 6600 m ³ .
Scarico gasolio	In centrale il gasolio, approvvigionato mediante autobotti, viene utilizzato per l'accensione caldaia in avviamento dei gruppi termoelettrici. Lo stoccaggio avviene in due serbatoi con una capacità complessiva di 300 m ³ .

STOCCAGGIO COMBUSTIBILI LIQUIDI							
Lo stoccaggio dei combustibili avviene tramite serbatoi fuori terra e interrati; il numero dei serbatoi e la loro descrizione viene fornita nella seguente tabella.							
Contenuto	Localizzazione (Tavola II)	Quantità n°	Volume m ³	Tipologia	Materiale costruzione	Precauzioni di sicurezza	Controlli
OCD	6	1	2000	Fuori terra a tetto fisso	Acciaio	Bacino di contenimento in cls/cemento armato con pavimentazione in cls e guaina d'asfalto sui giunti di dilatazione Collegamento fogne oleose	Controlli periodici sull'impermeabilizzazione del bacino di contenimento
OCD	6	2	1200	Fuori terra a tetto fisso	Acciaio	Bacino di contenimento in cls/cemento armato con pavimentazione in cls e guaina d'asfalto sui giunti di dilatazione Collegamento fogne oleose	Controlli periodici sull'impermeabilizzazione del bacino di contenimento
OCD	7	2	1100	Fuori terra a tetto fisso	Acciaio	Bacino di contenimento in cls/cemento armato con pavimentazione in cls Collegamento fogne oleose	Controlli periodici sull'impermeabilizzazione del bacino di contenimento
Gasolio	9	2	150	Fuori terra	Acciaio	Bacino di contenimento in cls/cemento armato con pavimentazione in cls Collegamento fogne oleose	Controlli periodici sull'impermeabilizzazione del bacino di contenimento

Tabella 3: scheda descrittiva delle attività ambientalmente rilevanti

STOCCAGGIO DI MATERIALI E SOSTANZE							
Lo stoccaggio di alcuni materiali e sostanze avviene tramite serbatoi fuori terra e interrati; il numero dei serbatoi e la loro descrizione viene fornita nella seguente tabella.							
Contenuto	Localizzazione (Tavola II)	Quantità n°	Volume m ³	Tipologia	Materiale costruzione	Precauzioni di sicurezza	Controlli
Acque inquinabili da oli	27	2	150	Fuori terra	Acciaio	Bacino di contenimento in cls/cemento armato con pavimentazione in cls Collegamento fogne oleose	Controlli periodici sull'impermeabilizzazione del bacino di contenimento
Soda	15	1	20	Fuori terra	Acciaio	Bacino di contenimento in cls/cemento armato con pavimentazione in cls Collegamento con la vasca di neutralizzazione	Controlli periodici sull'impermeabilizzazione del bacino di contenimento
Acido solforico	15	2	20	Fuori terra	Acciaio	Bacino di contenimento in cls/cemento armato con pavimentazione in cls Collegamento con la vasca di neutralizzazione	Controlli periodici sull'impermeabilizzazione del bacino di contenimento
Ipoclorito di sodio	17	1	20	Fuori terra	Vetroresina	Bacino di contenimento Collegamento con la vasca di neutralizzazione	

USO DI MATERIALI E SOSTANZE	
Sostanza	Descrizione e utilizzo
Oli lubrificanti ed isolanti	Gli oli isolanti vengono utilizzati esclusivamente per l'esercizio dei trasformatori, mentre gli oli lubrificanti vengono utilizzati per differenti macchinari all'interno della centrale. Tali prodotti sono contenuti come scorta entro depositi specificatamente costruiti ed autorizzati dagli Enti preposti e/o direttamente nei macchinari per la funzione specifica (trasformatori, turbine, ecc.).
Additivi di processo	Gli additivi principali di processo presenti in centrale sono: <ul style="list-style-type: none"> • acido solforico, idrato sodico utilizzati per la produzione di acqua DEMI; • polielettrolita e calce utilizzati per la chiariflocculazione delle acque reflue. • ipoclorito di sodio: fino al 1993 era utilizzato come prodotto antifouling nell'acqua condensatrice. • fosfato trisodico: utilizzato come alcalinizzante per il ciclo acqua vapore. • Idrazina idrata (soluzione al 24%): utilizzata come deossigenante e basificante nell'acqua di ciclo.
Gas compressi	Idrogeno: è impiegato come fluido di raffreddamento degli alternatori ed è previsto un reintegro periodico, utilizzando bombole contenenti H ₂ con una purezza del 99,9%. Le bombole di idrogeno vengono stoccate nel deposito bombole. A partire dal 2001 entrerà in funzione il nuovo sistema di distribuzione e stoccaggio realizzato secondo criteri antiesplorazione. CO ₂ : l'anidride carbonica viene impiegata come gas inerte di spiazzamento nelle fasi di riempimento e svuotamento del circuito idrogeno dell'alternatore, sia nel periodo manutentivo sia in un eventuale episodio di emergenza. Le bombole sono depositate nel deposito bombole nel punto indicato in planimetria allegata.

segue Tabella 3: scheda descrittiva delle attività ambientalmente rilevanti

STOCCAGGIO DI RIFIUTI PERICOLOSI IN SITI AUTORIZZATI		
Aree di stoccaggio	Localizzazione (Tavola II)	Descrizione e utilizzo
Area deposito rifiuti e rottami	32	Sono presenti inerti e rottami vari.
Raccolta oli esausti	13	L'area è adibita a depos.ito temporaneo prima dello smaltimento.
Deposito preliminare di rifiuti speciali pericolosi	28	Sono presenti: calciosilicato contenente fibre di amianto, oli con PCB, accumulatori al piombo esausti.
Deposito stoccaggio ceneri	29	<p>Contiene ceneri leggere che derivano dai depolverizzatori elettrostatici e dalla tramoggia di fondo della caldaia. Le ceneri vengono introdotte in fusti metallici da 200 litri.</p> <p>Le ceneri vengono conferite per il loro riutilizzo.</p> <p>La vasca ceneri presente in centrale (rif 31 di Tavola II), prevista per eventuali situazioni di emergenza, non è mai stata utilizzata nel corso di tutta la storia dell'impianto. La vasca ha un volume di 557 m³ e occupa una superficie di 310 m²; nel 1998 ne è stato eseguito il rifacimento dell'impermeabilizzazione, con applicazione di uno strato di malta cementizia bicomponente elastica, con additivi e polimeri sintetici, resistente alla corrosione chimica.</p>

segue Tabella 3: scheda descrittiva delle attività ambientalmente rilevanti

RACCOLTA E TRATTAMENTO DELLE ACQUE INQUINATE	
L'impianto di trattamento delle acque reflue è stato realizzato per garantire la conformità degli scarichi della Centrale alla normativa vigente ed è costituito da quattro sezioni, dedicate al trattamento delle acque oleose e acide/alcaline.	
Tipo	Descrizione
Acque oleose	L'impianto di disoleazione ha la portata massima di 100 m ³ /giorno. L'impianto è destinato a trattare le acque meteoriche e non, provenienti dalle condense del vapore utilizzati nei riscaldatori olio combustibile, dalle acque meteoriche raccolte nelle aree occupate dalle tre caldaie e dalle acque provenienti dai bacini di contenimento del parco serbatoi. Le acque da trattare, raccolte in tre pozzetti posti in prossimità delle caldaie, vengono pompate in due serbatoi di 150 m ³ che alimentano una vasca di decantazione (rif.11 di Tavola II). La vasca, in calcestruzzo armato, ha un volume di 145 m ³ e occupa una superficie di 49 m ² . Da questa vasca gli oli separati vengono raccolti da un Discoil e inviati, mediante pompa, ai serbatoi nel parco oli combustibili. L'acqua rimanente, previa filtrazione su carbone attivo, è inviata allo scarico.
Acque sanitarie	Le acque sanitarie provengono dai locali mensa e dai servizi igienici presenti in centrale. La portata stimata è di circa 60 m ³ /giorno. Le acque sanitarie sono raccolte in fosse settiche che periodicamente vengono spurgate con autobotti, mentre il sovrappieno viene inviato direttamente alla fogna.
Acque reflue acide/basiche	L'impianto trattamento acque reflue acide ed alcaline è destinato al trattamento dei reflui provenienti dall'impianto di demineralizzazione dell'acqua dei cicli termici, da scarichi accidentali provenienti dai piazzali e dai bacini di contenimento dei serbatoi di stoccaggio di acido solforico, soda caustica e ipoclorito di sodio. La neutralizzazione di queste acque viene effettuata usando acido solforico e soda caustica in un'apposita vasca (rif.16 di Tavola II). La vasca ha un volume di 177 m ³ e occupa una superficie di 57 m ² . È stata realizzata in calcestruzzo armato con uno strato di rivestimento in PVC; nel 1998 è stato eseguito il rifacimento della impermeabilizzazione, con piastrellatura anticorrosiva. La vasca viene sottoposta a periodici controlli di tenuta. I reflui neutralizzati vengono quindi inviati, previa omogeneizzazione all'interno della vasca di neutralizzazione, al canale di restituzione acqua di circolazione. Le acque provenienti dai lavaggi del circuito fumi dai lavaggi acidi dei circuiti di caldaia vengono inviati ad una vasca di alcalinizzazione e chiariflocculazione (rif.30 di Tavola II). La vasca ha un volume di 264 m ³ e occupa una superficie di 102 m ² ; è stata realizzata nel 1976 in calcestruzzo armato con rivestimento in vernice antiacida. La vasca viene sottoposta a periodici controlli di tenuta.

segue Tabella 3: scheda descrittiva delle attività ambientalmente rilevanti

1.5 Episodi ambientalmente rilevanti riscontrati in passato

Nel corso degli anni '70 e '80 sono emerse evidenze della presenza di idrocarburi in fase liquida libera in galleggiamento sull'acqua di falda, in corrispondenza della superficie freatica. Questo fenomeno risultava evidente sia nel letto del Torrente Cantera sia in corrispondenza di un vecchio pozzo agricolo presente nel settore ovest della proprietà, della profondità di circa 4 metri, nella quale, assieme all'acqua di falda, infiltravano quantità di idrocarburi, soprattutto in occasione di intense precipitazioni atmosferiche.

Il fenomeno sembrava attribuibile ad infiltrazioni di idrocarburi provenienti dalla limitrofa raffineria e deposito ESSO Italia. L'ENEL, in considerazione dei probabili danni ambientali dovuti all'inquinamento del sottosuolo della centrale e di eventuali sversamenti in mare di prodotti petroliferi, in passato segnalò più volte alla ESSO il fenomeno, richiedendo azioni atte ad eliminarlo.

Nell'agosto 1990, la Pretura di Augusta e la Guardia di Finanza ispezionarono il letto del Torrente Cantera ed il pozzo agricolo interno alla centrale: il primo in quel momento si presentava non inquinato, mentre sul secondo furono riscontrate tracce di olio minerale in superficie.

Il manifestarsi del fenomeno, gli accertamenti da parte delle Autorità e le azioni delle parti hanno avuto anche lunghi periodi di pausa.

Nel 1990, ENEL decise di richiedere un accertamento tecnico preventivo al Tribunale di Siracusa, allo scopo di acquisire una descrizione ufficiale dello stato dei luoghi coinvolti dal fenomeno, accertamento da far valere esclusivamente a difesa nel caso di eventuali futuri addebiti di responsabilità nei suoi riguardi. Per l'accertamento tecnico preventivo, il Tribunale di Siracusa nominò l'Ing. Costanza Marcello che il 5/12/1990, in presenza di consulenti ESSO ed ENEL, ispezionò i luoghi interessati, prelevando campioni di liquido da sottoporre ad analisi, sia dal pozzo che dal letto del Torrente Cantera. L'accertamento tecnico preventivo, depositato in tribunale il 16/1/91, confermò la presenza di emulsioni ed oli minerali nei campioni di cui sopra; la presenza più elevata fu riscontrata nelle acque del pozzo agricolo interno alla centrale.

A seguito di ciò, ESSO Italia dovrebbe aver provveduto a mettere in atto una serie di interventi, allo scopo di individuare la situazione esistente, definire le azioni correttive e intraprendere gli interventi idonei ad eliminare il fenomeno e i relativi danni ambientali, comprendente:

- l'esecuzione di indagini georadar per delineare la presenza di idrocarburi nel sottosuolo;
- l'esecuzione di trivellazioni e la realizzazione di una serie di piezometri di monitoraggio all'interno del terreno di proprietà ENEL;
- la messa in sicurezza dei propri impianti tramite la realizzazione di un diaframma impermeabile a valle dell'area di deposito;
- il recupero del prodotto in fase libera.

ENEL Produzione non è a conoscenza dei dettagli circa i risultati della caratterizzazione del sottosuolo, l'intensità e l'estensione della contaminazione, le precise modalità di realizzazione degli interventi e i risultati raggiunti.

2 INQUADRAMENTO AMBIENTALE DEL SITO

2.1 Assetto geografico-territoriale

La Centrale Termoelettrica di Augusta è collocata in un'area industriale nella quale sono presenti numerosi insediamenti produttivi. Tale area, dichiarata ad elevato rischio ambientale, è costituita dai territori dei Comuni di Augusta, Priolo, Melilli, Siracusa, Florida e Solarino in Provincia di Siracusa, per un'estensione complessiva di circa 550 chilometri quadrati.

Il territorio in oggetto si estende tra le strutture dei monti Iblei, ad Ovest, ed il mare Ionio, ad Est.; quindi presenta settori prevalentemente collinari e montuosi che degradano verso le zone pianeggianti della fascia costiera.

2.2 Morfologia di superficie

Il sito occupa la sponda nord dell'avvallamento fluviale del Torrente Cantera.

La parte est dell'area di proprietà ENEL è occupata dagli impianti e dalle opere connesse; si presenta con superficie piana, alla quota approssimativa di 3 m sul livello del mare.

La parte ovest della proprietà non ospita impianti produttivi; in essa sono stati ubicati edifici ausiliari (mensa, magazzini) e, negli anni iniziali dell'attività dell'impianto, alcune abitazioni civili, da tempo abbandonate. Inoltre sono rimaste presenti alcune strutture risalenti alle attività agricole precedenti la costruzione dell'impianto, tra le quali un pozzo di irrigazione a bocca larga che intercetta la falda superficiale. Questa parte dell'area si presenta in declivio, con una quota massima di circa 13 m sul livello del mare in corrispondenza dell'angolo nord-ovest. La linea di massima pendenza è orientata da nord-ovest verso sud-est, in direzione della parte centrale di questa porzione della proprietà, la quale si presenta poi pianeggiante, con una quota del piano di campagna che si situa attorno ai 5 m s.l.m.

Questa morfologia superficiale, che ricalca l'originale avvallamento fluviale, è rimasta a tutt'oggi invariata rispetto alla situazione originale prima della acquisizione dell'area da parte di ENEL, come risulta da un rilievo plano-altimetrico ante operam, eseguito nel 1956 e tuttora presente nell'archivio di centrale.

2.3 Meteorologia

Il sito è caratterizzato da un clima "temperato subtropicale" (secondo Köppen) con temperature medie mensili sempre superiori a 10 °C caratteristico di alcune zone costiere dell'Italia meridionale ed insulare. I dati ISTAT di piovosità negli anni 1985-1989 evidenziano una precipitazione media annua pari a 50 mm con 56 giorni di pioggia.

Le condizioni termiche sono state ricavate dalle misurazioni fatte nelle stazioni termometriche più vicine al sito in esame: le stazioni di Lentini e Siracusa.

Da queste si ricava che:

- la temperatura minima mensile registrata in entrambe le stazioni è del mese di Febbraio (7,2°C per Siracusa e 5,2 °C per Lentini);
- la temperatura massima mensile registrata in entrambe le stazioni è del mese di agosto (31,9 °C per Siracusa e 34,8 °C per Lentini);
- l'escursione termica massima si registra per entrambe le stazioni nei mesi di luglio agosto (di 11,3 °C per Siracusa e 15 °C per Lentini).

Il rapporto e la correlazione dei dati pluviometrici con quelli termometrici denotano caratteri climatici xerotermici di tipo termo-mediterraneo (curva termica sempre positiva e giorni più lunghi concentrati nel periodo secco).

2.4 Assetto geologico e geomorfologico

2.4.1 Scala regionale

Nella zona costiera, l'area è contraddistinta dalla forte presenza di insediamenti industriali, che la rendono il più importante polo industriale della Sicilia, mentre l'entroterra è caratterizzato da zone prevalentemente destinate ad uso agricolo.

La rada di Augusta accoglie le foci di tre modesti corsi d'acqua il Mulinello, il Marcellino e il Cantera, i quali nascono nelle alture che si susseguono tra Lentini e Mellili. Proseguendo verso il mare questi corsi d'acqua attraversano, con andamento Ovest-Est, una regione in rapido declivio nella quale il loro alveo risulta profondamente inciso; in prossimità del mare essi hanno dato luogo, grazie al materiale solido trasportato e depositato, a spianate di breve estensione che essi stessi incidono prima di sfociare in mare. Su una di queste aree pianeggianti, sulla sponda sinistra del Cantera, ad una quota poco superiore al livello del mare, sorge la Centrale Termoelettrica di Augusta.

Dal punto di vista geologico strutturale (Tavola IV) l'elemento principale, a livello regionale, è costituito dalla presenza di strutture alternativamente rialzate e riabbassate ad "horst e graben", legate a eventi tettonici pliocenici, che hanno condizionato la geometria del substrato e lo spessore dei depositi sedimentari quaternari. Il sito su cui si ubica la centrale ENEL fa parte di una struttura a fossa (graben), delimitata, a Nord e a Sud da due sistemi di faglie con direzione prevalente Ovest-Est, ed ulteriormente dislocata e ribassata, da Ovest verso Est, da fasci di discontinuità con direzione prevalente NO-SE.

2.4.2 Scala locale

Nell'area affiorano formazioni sedimentarie e complessi eruttivi cronologicamente compresi tra il Cretaceo superiore ed Pleistocene. In subordine, e con distribuzione areale limitata, sono presenti depositi detritici attuali e recenti di varia genesi.

La successione litostratigrafica, dall'alto verso il basso, è la seguente:

- Alluvioni e depositi di spiaggia recenti ed attuali (Olocene): ricoprono gli alvei dei corsi d'acqua e le ristrette fasce al loro contorno. Si tratta di depositi incoerenti con granulometria grossolana, giacitura caotica e spessori che non superano i 5-10 metri. I depositi di spiaggia si estendono con continuità nella fascia litorale, sono costituiti da sabbie medio-fini incoerenti di spessore modesto.
- Alluvioni terrazzate (Pleistocene superiore): sono state ritrovate in lembi disposti secondo vari ordini lungo le valli fluviali e sulle spianate d'abrasione marine. Sono costituite da conglomerati e sabbie sciolte (spessore compreso tra qualche decimetro e 5-6 metri).
- Biocalcareni e sabbie gialle (Pleistocene medio-sup.): affiorano in estesi lembi in posizione trasgressiva sulle sottostanti formazioni. Sono grossolane di colore giallo-ocra, finemente stratificate con frequente presenza, alla base, di lenti conglomeratiche e paraconglomeratiche. Lo spessore è di 0,5-10 metri.
- Argille marnose-siltose grigio-azzurre (Pleistocene inferiore): lievemente discordanti sui terreni di appoggio e con potenze crescenti da ovest verso est, fino a raggiungere spessori di 150 m in prossimità della costa.
- Calcareni e sabbie giallastre (Pleistocene inferiore -Miocene superiore): con intercalazioni sabbiose-arenitiche debolmente cementate; la potenza massima raggiunta da questo orizzonte è di 45-50 m..
- Vulcaniti (Miocene medio): sono prodotti di effusioni submarine di tipo esplosivo. Le litofacies dominanti sono quelle vulcanoclastiche ed in subordine quelle laviche basaltiche con fessurazioni colonnare e desquamazione globulare. Lo spessore massimo è di 80-100 metri.
- Calcari a lamellibranchi (Miocene inferiore-medio): si tratta di calcareniti bianco-giallastre, tenere e friabili, in strati e banchi di potenza metrica, sottilmente laminate e con frequenti intercalazioni di marne calcaree e abbondante presenza di modelli interni di lamellibranchi.

- Calcari ad alghe e calcareniti a banchi (Miocene inferiore-medio): potente successione di calcareniti e calciruditi algali bianco-giallastre irregolarmente stratificate, fratturate, sovente carsificate e con giacitura sub-orizzontale.
- Calcari a macroforaminiferi (Oligocene): si tratta di calciruditi e calcareniti a macroforaminiferi, coralli ed alghe passanti verso l'alto e lateralmente a biolititi. I rapporti stratigrafici di substrato sono di netta trasgressione sui terreni più antichi della successione.
- Brecce e magabrecce (Cretaceo superiore): con elementi calcarenitici e calciruditici a rudiste e gasteropodi, alternate a marne, costituenti tipica facies di margine di scogliera. Spessore massimo di 10 metri.
- Vulcaniti (Cretaceo superiore): lave, vulcanoclastiti e dicchi basaltici di serie alcalino sodica, spesso profondamente alterati. Spessore affiorante di circa 50 metri, ma in sottosuolo anche con potenze dell'ordine delle centinaia di metri.

2.5 Assetto idrogeologico

2.5.1 Scala regionale

Dal punto di vista idrogeologico si evidenzia la presenza di strutture acquifere sovrapposte in relazione complessa tra loro sia per l'eterogeneità litologica che per la particolare situazione strutturale.

Detti fattori condizionano fortemente la circolazione idrica sotterranea e, rendono difficile la ricostruzione di un modello idrogeologico esaustivo delle interconnessioni idrauliche tra i diversi acquiferi presenti.

L'assetto idrogeologico a scala regionale è illustrato Tavola V

Qui di seguito si illustra comunque uno schema idrogeologico semplificato.

Con riferimento alle formazioni litologiche descritte nel paragrafo precedente, nell'area in esame si distinguono cinque acquiferi sovrapposti; dall'alto al basso questi sono:

1. nelle alluvioni attuali e terrazze - falde freatiche sospese, stagionali di scarso interesse;
2. nelle calcareniti medio-pleistoceniche - depositi molto permeabili che formavano un acquifero superficiale molto produttivo, ora sterile a causa del suo intenso sfruttamento negli anni '60; al letto di questo orizzonte si trovano le argille grigio-azzurre praticamente impermeabili;
3. nelle calcareniti plesitoceniche inferiori - arealmente ben rappresentato, ad elevata permeabilità, idraulicamente connesso con l'acquifero sottostante; nonostante sia intensamente sfruttata questa è una falda ancora a buona potenzialità con un bacino di ricarica ben alimentato;
4. nelle vulcaniti plio-pleistoceniche - caratterizzato da permeabilità, produttività e capacità di immagazzinamento estremamente variabili da settore a settore, è attualmente intensamente sfruttato, da pozzi trivellati fino a 300 m di profondità che lo attraversano interamente
5. nelle litofacies carbonatiche oligo-mioceniche - in questo acquifero la circolazione avviene soprattutto per fessurazione con discontinuità intercomunicanti molto spesso parzialmente carsificate; costituisce l'acquifero profondo e la falda in esso contenuta è quella che dà origine alle importanti sorgenti di S. Cusumano.

La carta idrogeologica dell'area è riportata nella Tavola VI; essa è inoltre corredata da alcune sezioni geolitologiche (Tavola VII).

Le falde, contenute negli acquiferi sopra descritti, sono sfruttate tramite l'ausilio di oltre 150 pozzi e, a seconda della loro ubicazione e della falda sfruttata (per la maggior parte i pozzi emungono dalla terza falda), la loro portata varia da 5 a 50 l/s con depressioni della superficie piezometrica fino a 80 metri.

Una nota particolare è dedicata alle sorgenti, presenti in quantità nel bacino idrografico del Cantera. Attualmente la loro portata ha subito una forte riduzione a causa dello sfruttamento intensivo della risorsa idrica già a partire dagli anni '60 con il conseguente depauperamento progressivo della risorsa

idrica. Lungo l'asta del Cantera, infatti, erano presenti numerose sorgenti, da tempo estinte per l'abbassamento della superficie piezometrica della falda.

Gli attuali principali punti di emergenza si ubicano soprattutto lungo le maggiori dislocazioni tettoniche presenti nell'area; si cita, tra le più produttive, la sorgente S. Cusumano, ubicata a quota 18 m s.l.m., alimentata dall'acquifero carbonatico profondo ed avente una portata di 225 l/s.

2.5.2 Scala locale

Come già descritto, il sito su cui insiste la centrale fa parte di una struttura tettonica definita fossa, o graben, che, in corrispondenza della fascia costiera, è colmata da depositi sedimentari e vulcanici pleistocenici che formano l'acquifero da cui attingono i pozzi di emungimento ENEL. Questi depositi sono sovrastati al tetto dalle argille grigio-azzurre che rendono l'acquifero semi-artesiano, mentre, al letto e lateralmente sono in continuità idraulica con l'acquifero sottostante (acquifero carbonatico oligo-miocenico), con conseguente scambio, in termini di alimentazione e di influenza sull'andamento dei livelli piezometrici, tra le falde in essi contenute.

Lo spessore dell'argilla, che aumenta procedendo dall'interno verso la costa da pochi metri ad alcune centinaia di metri, è strettamente associato alla struttura tettonica dell'area ed è evidentemente maggiore laddove le argille hanno colmato le depressioni corrispondenti ai graben presenti nelle formazioni sottostanti.

Nell'area in esame la formazione argillosa conserva, comunque, una continuità sufficiente a garantire la separazione dell'acquifero superficiale da quello profondo.

La falda semi-artesiana è da tempo oggetto di intenso sfruttamento, con relativo abbassamento del livello piezometrico e conseguente formazione di un cono di depressione e dell'instaurarsi di condizioni di richiamo dell'acqua di mare.

Riassumendo, quindi, le falde presenti nell'area in esame sono riportate, con le loro caratteristiche idrogeologiche, nella tabella seguente.

Acquifero	Tipo di falda	Profondità tetto (da p.c.)	Spessore	Permeabilità	Note
Alluvionale	Freatica, stagionale	subaffiorante	5-10 m	Elevata (porosità)	Non sfruttata
Calcarenitico pleistocene medio	Freatica	10-15 m	20 m	Elevata (porosità)	sfruttata intensamente negli anni '60
Calcarenitico pleisoc. inferiore	Semi-artesiana	100-150 m	40-50 m	medio-alta (porosità)	intensamente sfruttata (5 pozzi ENEL), in comunicazione con le falde sottostanti
vulcaniti plio-pleistoceniche		180 - 200 m	Oltre 200	Variabile ¹ (porosità/fessurazione)	
Carbonatico oligo-miocenico	Confinata	Oltre i 300 m	?	Elevata (per fessurazione)	Difficilmente raggiunta dai pozzi di emungimento

Tabella 4: caratteristiche degli acquiferi presenti nell'area in esame.

Nello studio idrogeologico eseguito nel 1987 dal Dott. Ursino nell'area circostante la centrale di Augusta, sono stati censiti 120 pozzi trivellati e 39 di tipo romano; questi ultimi emungono dalla falda superficiale.

¹ Un dato estratto dalla pubblicazione ENEL relativa all'analisi idrogeologica del 1987 relativa al sito della Centrale di Augusta fornisce un valore di permeabilità per questo acquifero di $3 \cdot 10^{-5} \div 3 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Dei pozzi trivellati, 45 sono utilizzati a scopo industriale (di questi ben 24 pozzi sono di proprietà della Raffineria Esso di Augusta) e i rimanenti sono utilizzati a scopo irriguo (periodo di sfruttamento da maggio a settembre, con portate oscillanti tra 5 e 15 l/s).

Nella Tavola VI, sono riportati i pozzi trivellati che raggiungono gli acquiferi profondi (quelli semi-artesiani, posti al di sotto delle argille plioceniche grigio-azzurre); la maggior parte di essi (quelli ad uso industriale) si concentrano tutti nella fascia costiera. Le trivellazioni sono state eseguite in tempi e con modalità diverse e molto spesso senza adottare sistemi di perforazione che garantissero la protezione della falda, con conseguenti possibili rischi di contaminazione della stessa.

Sempre nella Tavola VI è riportata, per l'area vasta di indagine, la ricostruzione della superficie piezometrica, il cui andamento costituisce la somma degli effetti dei sistemi di falde semi-artesiane contenute nei complessi idrici profondi; da questa ricostruzione si evince che la direzione di flusso principale è O-E, in direzione del mare.

In particolare, nel sottobacino di pertinenza dei pozzi ENEL, l'asse di deflusso principale della falda converge verso l'alveo del Cantera.

In base ai dati censiti dal Dott. Ursino nel 1987, è stata eseguita anche un'analisi storica dell'evoluzione della superficie piezometrica nell'ultimo trentennio (fino al 1987), da cui si conclude che:

- in questo periodo lungo tutta la fascia costiera la falda ha subito un continuo abbassamento del livello (nell'area a sud del Cantera gli abbassamenti hanno raggiunto i 50 m);
- per la falda profonda i livelli piezometrici vanno da -60 m s.l.m. in corrispondenza della Centrale ENEL ai -100,-120 m s.l.m. nel settore occidentale.

La centrale ENEL sfrutta, con l'ausilio di cinque dei dieci pozzi originariamente trivellati nel proprio territorio, l'acquifero semiartesiano calcarenitico (pleistocene inferiore, vedi Tabella 4, che è in connessione idraulica con quello vulcanitico pleistocenico; l'insieme di questo sistema idrico costituisce un acquifero di notevole spessore e di permeabilità variabile: infatti è più elevata nella porzione medio-superiore e diminuisce verso il basso per la presenza di intercalazioni argilloso-limose. La portata media di acqua emunta è di circa 100 m³/h, con una portata massima complessiva di 198 m³/h. Le quantità prelevate mediamente nell'anno variano da 1 a 1,5 milioni di m³/anno; l'acqua emunta viene utilizzata per i processi industriali e a scopo potabile.

Le stratigrafie dei pozzi n. 5, 6, 8, e 10 sono riportate nelle Tavola VIII; la loro ubicazione, unitamente a quella del rimanente pozzo n° 9, è riportata nella planimetria di Tavola IX².

2.5.3 *Qualità delle acque sotterranee*

Nell'area ENEL sono presenti due falde principali: una superficiale e una più profonda.

In genere l'acquifero superficiale (alluvioni e calcareniti medio-pleistoceniche, vedi paragrafo precedente) è quasi sempre subaffiorante e, frequentemente, inquinato. Questo acquifero non è interessato dai pozzi di emungimento della centrale e non è molto produttivo, sia a causa dei forti emungimenti che alla sua mancata alimentazione da parte delle acque del Cantera il cui alveo è stato impermeabilizzato nel tratto adiacente la centrale.

L'acquifero profondo, emunto dai pozzi ENEL, è invece molto ben protetto dalla contaminazione, in quanto localmente ricoperto da 70-100 m di argille che, data la loro quasi totale impermeabilità, impediscono la filtrazione di prodotti inquinanti. Questa formazione argillosa protegge inoltre l'acquifero profondo dalle possibili ingressioni di acqua marina, richiamata a causa dei forti emungimenti attuati lungo tutta la fascia costiera.

All'interno della centrale sono stati a suo tempo trivellati 10 pozzi di emungimento per la produzione di acqua di processo e potabile; attualmente, solo 5 di essi sono autorizzati all'esercizio, mentre i restanti sono stati abbandonati, chiusi o sono franati..

² Gli stessi pozzi sono riportati anche sulla carta idrogeologica di Tavola VI.

I pozzi ENEL sono realizzati in modo da essere finestrati solo in corrispondenza degli orizzonti produttivi dell'acquifero profondo (a oltre 100 m di profondità) e, sono idraulicamente isolati negli orizzonti più superficiali, in modo da proteggere la falda da possibili contaminazioni.

Date queste premesse, le acque della falda profonda sono a tutt'oggi di buona qualità (comunque conformi alla normativa vigente in tema di consumo umano; questa indicazione è supportata da una serie di analisi eseguite nell'ambito dell'indagine idrogeologica svolta nel 1987 dal Dott. Ursino)

2.6 Assetto idrografico

Il territorio circostante il sito della Centrale Termoelettrica ENEL di Augusta, comprende le porzioni mediane e terminali dei bacini idrografici del Fiume Marcellino e dei Torrenti Cantera e Mulinello. Questi corsi d'acqua, compresa tutta la loro rete idrografica minore, si snodano entro profonde valli dai fianchi ripidi incise in formazioni calcaree e vulcanitiche.

Il Fiume Marcellino nasce al Cugni Sortino (724 m s.l.m.) con il nome di Fiume Carrubba ed assume poi i nomi di Fiume Grande e Fiume Marcellino. E' complessivamente lungo 27 Km ed il suo bacino imbrifero si estende per circa 70 Km²; il deflusso medio annuo stimato alla foce è di 0,584 m³/s, con un massimo di 1,44 m³/s nel mese di febbraio, ed un minimo di 0,01 m³/s nel mese di luglio.

Il Torrente Cantera, posto a circa un chilometro a Sud dal Fiume Marcellino, nasce a Cozzo S. Giorgio (510 m s.l.m.) con il nome di Cava dei Ladroni, assumendo poi i nomi di Vallone Fontanelle e Cava dei Mulini per sfociare infine in località Faro Cantera. Il suo corso è lungo 13 Km ed il suo bacino imbrifero è di circa 42 Km²; il deflusso medio annuo stimato alla foce è di 0,376 m³/s, con un massimo di 0,910 m³/s nel mese di febbraio, ed un minimo di 0,01 m³/s nei mesi di luglio e agosto.

Nell'ambito del bacino del Cantera sono presenti numerose sorgenti che alimentano il corso d'acqua, determinando una portata di magra superiore a quella sopra riportata: infatti la portata complessiva delle numerose derivazioni esistenti è valutabile attorno ai 0,204 m³/s malgrado l'andamento degli afflussi mensili del bacino sia tale da determinare un regime di tipo torrentizio.

Il sito della centrale ENEL di Augusta è interessato dal Torrente Cantera, che ne lambisce il confine Sud (vedi planimetrie delle Tavole I e II). Le sue acque sono state da tempo captate a monte e convogliate nel serbatoio Montedison di Ogliaastro; i ridotti deflussi temporanei, di origine prevalentemente meteorica, si convogliano nell'alveo che nel tratto in cui costeggia la centrale ENEL e in quello immediatamente a monte è completamente impermeabilizzato. Il corso d'acqua non è quindi in questo tratto in relazione idraulica con la falda superficiale. Al di fuori dei periodi di piovosità, il deflusso naturale del torrente Cantera è nullo; la zona di foce è interessata dal rientro di acqua di mare.

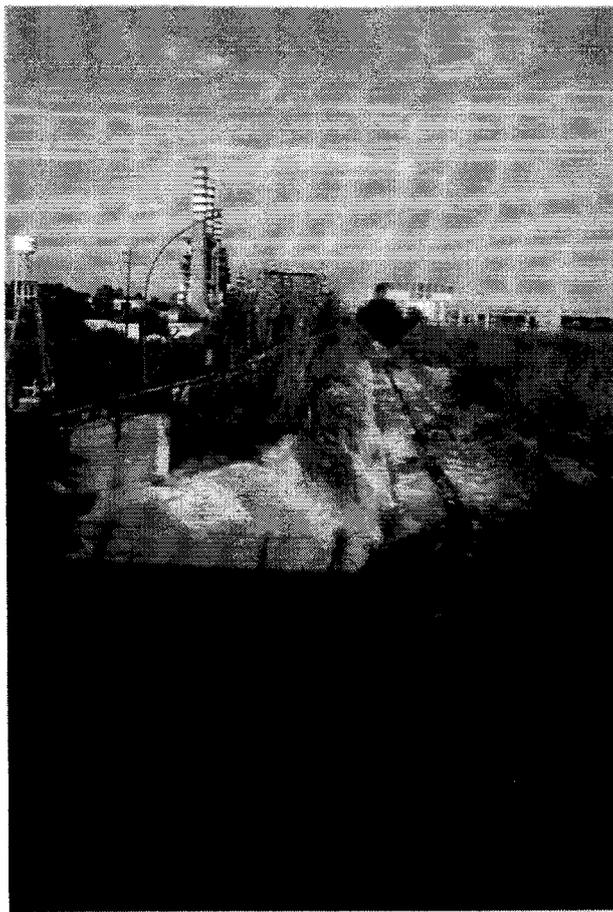


Figura 3: l'alveo impermeabilizzato del Torrente Cantera nel tratto a monte della centrale ENEL di Augusta

2.7 Destinazione d'uso prevista dagli strumenti urbanistici

Per tutta l'area industriale compresa tra Siracusa e Augusta, vige il Piano Regolatore Sovracomunale del Consorzio Area Sviluppo Industriale (A.S.I.).

La zonizzazione allegata alla variante al Piano Regolatore redatta nell'ottobre 1990 definisce l'intera proprietà ENEL come area destinata ad insediamenti industriali.

2.8 Obiettivi di recupero dell'area in funzione dei riferimenti normativi e della destinazione d'uso

La centrale ENEL di Augusta è stata inserita nel programma nazionale di bonifica e ripristino ambientale dei siti inquinati, soggetti ad interventi di interesse nazionale, mediante la Legge n° 426 del 9 dicembre 1998, art. 4) "*Nuovi interventi in campo ambientale*", in riferimento all'articolo 18, comma 1, lettera c) Gela e Priolo, del D.Lgs. 22/97 (perimetrazione delle aree di interesse nazionale). La perimetrazione del sito di interesse nazionale di Priolo, è definita dal Decreto del Ministero dell'Ambiente del 10 gennaio 2000.

La normativa di riferimento per la bonifica dei terreni contaminati a livello nazionale è costituita dal D. Lgs. n°22 del 5 febbraio 1997 (Decreto Ronchi) e dal relativo Regolamento Attuativo DM n° 471 del 25 ottobre 1999.

Tale Decreto definisce, in relazione alla specifica destinazione d'uso del sito, due livelli di bonifica, cui corrispondono diversi limiti tabellari per le concentrazioni ammissibili degli inquinanti organici ed inorganici nel terreno, superati i quali si deve procedere ad un intervento di messa in sicurezza, bonifica e ripristino ambientale. Tali limiti dovranno essere rispettati nell'intera profondità contaminata. I valori di concentrazione limite accettabili per le sostanze presenti nel suolo e sottosuolo si differenziano in base alla destinazione d'uso:

- verde pubblico, verde privato e residenziale (colonna A),
- industriale e commerciale (colonna B).

La normativa prevede che, qualora i citati limiti non possano essere raggiunti nonostante l'applicazione delle migliori tecnologie disponibili o qualora la fonte inquinante sia costituita da rifiuti stoccati e non sia possibile la rimozione dei rifiuti stessi, nonostante l'applicazione delle migliori tecnologie disponibili a costi sopportabili, secondo i principi della normativa comunitaria, l'Autorità Competente possa autorizzare progetti di "*bonifica con misure di sicurezza e ripristino ambientale*" o "*interventi di messa in sicurezza permanente e ripristino ambientale*" che garantiscano, comunque, la tutela ambientale e sanitaria. Nel primo caso, i valori di concentrazione residua ammissibili (obiettivi di bonifica) saranno determinati in base ad una metodologia di analisi di rischio riconosciuta a livello internazionale.

Essendo l'area oggetto del presente studio un insediamento industriale attualmente attivo e tenendo conto della destinazione d'uso prevista dagli strumenti urbanistici vigenti, i valori limiti di riferimento nel caso in esame sono quelli relativi alla destinazione d'uso industriale o commerciale.

Nella Tabella 5 sono riportati i limiti di riferimento per i suoli, per i parametri di interesse nel caso in esame.

		DM 471/99 col. B	
	Parametro	C. L.	Unità di misura
	Composti inorganici		
1	Antimonio	30	mg/kg
2	Arsenico	50	mg/kg
3	Berillio	10	mg/kg
4	Cadmio	15	mg/kg
5	Cobalto	250	mg/kg
6	Cromo totale	800	mg/kg
8	Mercurio	5	mg/kg
9	Nichel	500	mg/kg
10	Piombo	1000	mg/kg
11	Rame	600	mg/kg
12	Selenio	15	mg/kg
13	Stagno	350	mg/kg
14	Tallio	10	mg/kg
15	Vanadio	250	mg/kg
16	Zinco	1500	mg/kg
	Aromatici		
19	Benzene	2	mg/kg
20	Etilbenzene	50	mg/kg
21	Stirene	50	mg/kg
22	Toluene	50	mg/kg
23	Xilene	50	mg/kg
24	Sommatoria organici aromatici (da 20 a 23)	100	mg/kg
	Aromatici Policiclici		
25	Benzo(a)antracene	10	mg/kg
26	Benzo(a)pirene	10	mg/kg
27	Benzo(b)fluorantene	10	mg/kg
28	Benzo(k,)fluorantene	10	mg/kg
29	Benzo(g, h, i,)perilene	10	mg/kg
30	Crisene	50	mg/kg
31	Dibenzopirene	10	mg/kg
32	Dibenzo(a,h)antracene	10	mg/kg
33	Indenopirene	5	mg/kg
34	Pirene	50	mg/kg
35	Sommatoria policiclici aromatici (da 25 a 34)	100	mg/kg
	Fenoli non clorurati		
67	Metilfenolo (o-, m-, p-)	25	mg/kg
68	Fenolo	60	mg/kg
	Fenoli clorurati		
69	2-clorofenolo	25	mg/kg
70	2,4-diclorofenolo	50	mg/kg
71	2,4,6 - triclorofenolo	5	mg/kg
72	Pentaclorofenolo	5	mg/kg
	Diossine e furani		
89	Sommatoria PCDD, PCDF (conversione T.E.)	1×10^{-4}	mg/kg
	PCB		
90	PCB	5	mg/kg
	Idrocarburi		
91	Idrocarburi leggeri C<12	250	mg/kg
92	Idrocarburi pesanti 12<C< 25	750	mg/kg
92	Idrocarburi pesanti C>25		
	Altre sostanze		
93	Amianto (fibre libere)	1000	mg/kg

Tabella 5: Valori di concentrazione limite accettabili nel suolo e nel sottosuolo, riferiti all'uso industriale e commerciale dei siti (colonna B della Tabella 1 dell'Allegato 1 al D.M. 471/99)

La sopracitata normativa fissa dei valori limite di accettabilità per le acque sotterranee, validi nel caso in cui il sito in esame non sia classificato come area sensibile, ai sensi della normativa di tutela delle acque dagli inquinanti (D. Lgs n°152 dell'11 maggio '99), e non sia necessario tutelare la qualità delle acque destinate ad uso potabile.

Nel caso in esame tali limiti sono applicabili in quanto, date le caratteristiche delle acque sotterranee dell'acquifero superficiale, queste non possono essere considerate come una risorsa idrica utilizzabile a fini antropici, tantomeno ad uso potabile.

Nella Tabella 6 sono riportati i valori limite per le acque, relativi ai parametri di interesse nel caso in esame.

		<i>DM 471/99</i>	
	<i>Parametro</i>	<i>C. L.</i>	<i>Unità di misura</i>
	Metalli		
1	Alluminio	200	µg/L
2	Antimonio	5	µg/L
4	Arsenico	10	µg/L
5	Berillio	4	µg/L
6	Cadmio	5	µg/L
7	Cobalto	50	µg/L
8	Cromo totale	50	µg/L
9	Cromo (VI)	5	µg/L
10	Ferro	200	µg/L
11	Mercurio	1	µg/L
12	Nichel	20	µg/L
13	Piombo	10	µg/L
14	Rame	1000	µg/L
15	Selenio	10	µg/L
16	Manganese	50	µg/L
17	Tallio	2	µg/L
	Vanadio	--	µg/L
18	Zinco	3000	µg/L
	Inquinanti Inorganici		
19	Boro	1000	µg/L
20	Cianuri liberi	50	µg/L
21	Fluoruri	1500	µg/L
22	Nitriti	500	µg/L
23	Solfati	250	mg/L
	Aromatici		
24	Benzene	1	µg/L
25	Etilbenzene	50	µg/L
26	Stirene	25	µg/L
27	Toluene	15	µg/L
28	para-Xilene	10	µg/L
	Aromatici Policiclici		
29	Benzo(a)antracene	0.1	µg/L
30	Benzo(a)pirene	0.01	µg/L
31	Benzo(b)fluorantene	0.1	µg/L
32	Benzo(k)fluorantene	0.05	µg/L
33	Benzo(g, h, i,)perilene	0.01	µg/L
34	Crisene	5	µg/L
35	Dibenzo(a,h)antracene	0.01	µg/L
36	Indenopirene	0.1	µg/L
37	Pirene	50	µg/L
38	Sommatoria policiclici aromatici (31,32,33, 36)	0.1	µg/L
	Alifatici Clorurati Cancerogeni		
39	Clorometano	1.5	µg/L
40	Triclorometano	0.15	µg/L
41	Cloruro di Vinile	0.5	µg/L
42	1,2-Dicloroetano	3	µg/L

	Parametro	DM 471/99	
		C. L.	Unità di misura
43	1,1-Dicloroetilene	0.05	µg/L
44	1,2-Dicloropropano	0.15	µg/L
45	1,1,2-Tricloroetano	0.2	µg/L
46	Tricloroetilene	1.5	µg/L
47	1,2,3-Tricloropropano	0.001	µg/L
48	1,1,2,2-Tetracloroetano	0.05	µg/L
49	Tetracloroetilene (PCE)	1.1	µg/L
50	Esaclorobutadiene	0.15	µg/L
51	Sommatoria Organoalogenati	10	µg/L
	Alifatici Clorurati non Cancerogeni		
52	1,1-Dicloroetano	810	µg/L
53	1,2-Dicloroetilene	60	µg/L
	Alifatici alogenati Cancerogeni		
54	Tribromometano (bromoformio)	0.3	µg/L
55	1,2-Dibromoetano	0.001	µg/L
56	Dibromoclorometano	0.13	µg/L
57	Bromodichlorometano	0.17	µg/L
	Fenoli e clorofenoli		
69	2-clorofenolo	180	µg/L
70	2,4-diclorofenolo	110	µg/L
71	2,4,6 - triclorofenolo	5	µg/L
72	Pentaclorofenolo	0.5	µg/L
	Altre Sostanze		
	Idrocarburi ³	10	µg/L

Tabella 6: Valori di Concentrazione Limite accettabili per le acque sotterranee
(Allegato 1 al D.M. 471/99)

³ Quale limite di riferimento per gli idrocarburi nelle acque, viene assunto il valore di 10 µg/L, sulla base del parere espresso da Istituto Superiore di Sanità e come richiesto dalla Conferenza di Servizi del 20 gennaio 2003.

3 CAMPAGNA DI CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE

Le attività in campo sono state eseguite nel periodo dal 14 maggio al 26 giugno 2003 e supervisionate in campo da tecnici CESI. Tutti i prelievi di campioni sono stati eseguiti direttamente dai tecnici CESI.

Le relative analisi chimiche sono state eseguite da CESI - B.U. Ambiente presso laboratori di Segrate e Piacenza, ad esclusione della determinazione del parametro **Diossine e furani**, la cui analisi mediante la tecnica di gascromatografia accoppiata a rivelatore di massa ad alta risoluzione è stata affidata al Laboratorio Eco-Center S.p.A., con sede in Bolzano, Lungo Isarco Sinistro 57.

Le attività sono state condotte sulla base di quanto delineato nel documento CESI A0/043143 del 27 dicembre 2000 dal titolo "Centrale Termoelettrica ENEL di Augusta - Piano della Caratterizzazione" e delle successive integrazioni riportate nel Rapporto CESI A1/039503 e tenendo conto delle richieste espresse da ARPA Sicilia.

Il documento di Piano di Caratterizzazione e le successive integrazioni sono state approvate in sede di Conferenza di Servizi "decisoria" tenutasi presso gli uffici della Prefettura di Siracusa in data 20 gennaio 2003 e avente come oggetto: "Procedimento per l'intervento di bonifica di interesse nazionale relativo al sito di Priolo Gragallo", con verbale Prot. 1445/RIBO/DI/B del 12 febbraio 2003.

3.1 Metodologie di indagine del suolo/sottosuolo e acque sotterranee

L'indagine di caratterizzazione dell'area in esame è stata articolata come di seguito specificato:

- l'esecuzione di n° 29 sondaggi, con profondità media variabile tra 4 e 15 m;
- l'installazione, in alcuni dei perfori di sondaggio, di n° 18 piezometri;
- l'esecuzione di n° 10 prove di permeabilità in foro di tipo Lefranc, per valutare la permeabilità dell'acquifero;
- il prelievo di campioni di terreno dalle carote estratte dai sondaggi, con analisi speditiva dei vapori dello spazio di testa mediante rivelatore a fotoionizzazione (PID) e successive analisi chimiche di laboratorio;
- il prelievo di campioni di acque sotterranee da n° 12 dei piezometri realizzati, con successive analisi chimiche di laboratorio;
- il prelievo di campioni di acque sotterranee da n° 5 piezometri preesistenti, con successive analisi chimiche di laboratorio;
- il prelievo di campioni di acque sotterranee da n° 5 pozzi di emungimento della centrale, con successive analisi chimiche di laboratorio;
- il prelievo di campioni di acqua sotterranea da un antico pozzo per l'irrigazione, denominato "Pozzo Romano", che attinge dalla prima falda, con successive analisi chimiche di laboratorio;

Le stratigrafie dei sondaggi eseguiti e la relativa documentazione fotografica sono riportati nell'Allegato 1.

3.1.1 Ubicazione delle indagini

I punti di sondaggio sono stati ubicati secondo quanto previsto dal Piano della Caratterizzazione per l'intera area di centrale (Rapporto CESI A0/043143).

Nel Piano di caratterizzazione erano previsti:

- n° 9 sondaggi ubicati ai nodi di una maglia sistematica di lato 100 m.
- n° 10 sondaggi posizionati secondo una maglia di indagine ragionata

per complessivi 19 sondaggi, identificati con le sigle da SS1 a SR19, a seconda che facessero parte della maglia sistematica o della maglia ragionata.

In sede di cantiere, l'esatta ubicazione dei punti ha subito piccole variazioni rispetto alle ubicazioni previste, in funzione delle situazioni logistiche riscontrate sul campo (presenza di ingombri, di sottoservizi, di linee aeree in tensione, ecc.).

Oltre ai sondaggi a carotaggio continuo, sono stati eseguiti n° 3 campionamenti di suolo superficiale destinati alla sola determinazione di PCDD e PCDF (Diossine e Furani), eseguiti con attrezzi manuali fino alla profondità massima di 10 cm e su di una superficie quadrata di 1m di lato. Questa metodologia di prelievo è stata indicata da ARPA Sicilia - DAP Siracusa, come risulta dal Verbale di Riunione del 17/04/2003. I punti di indagine per la determinazione delle Diossine sono stati identificati con le sigle D1, D2 e D3.

Oltre ai punti di sondaggio previsti durante lo svolgimento dell'attività, a seguito della constatata presenza di un'evidenza di contaminazione del suolo, sono stati eseguiti sondaggi aggiuntivi, in numero totale di 8, al fine di meglio definire il contorno dell'area contaminata. Inoltre, sono stati realizzati alcuni piezometri (identificati con le sigle B1, B2 e B3) che potessero eventualmente venire inseriti in una barriera idraulica avente lo scopo di intercettare il flusso di acque di falda contaminate, in qualità di misura di messa in sicurezza. Il piezometro B2 ha la stessa ubicazione del sondaggio SS5, che era stato eseguito in precedenza e, non essendo previsto di attrezzarlo con piezometro, era stato successivamente chiuso.

Le coordinate dei punti di sondaggio, riportate nella tabella seguente, sono state rilevate per mezzo di strumentazione GPS Differenziale; le quote del piano campagna in corrispondenza dei punti di sondaggio sono state ottenute per mezzo di livellazioni plano-altimetriche.

La localizzazione dei punti di sondaggio è riportata nella planimetria di Tavola X.

sondaggio	coordinate Gauss-Boaga Roma 40 fuso est		quota m s.l.m.	note
	N	E		
S1	4118093	2535398	6.1	maglia sistematica
S2	4118087	2535497	5.2	maglia sistematica
S3	4118098	2535611	3.7	maglia sistematica
S4	4118006	2535503	6.2	maglia sistematica
S5	4118000	2535605	3.2	maglia sistematica
S7	4118003	2535799	3.0	maglia sistematica
S8	4117900	2535601	3.2	maglia sistematica
S9	4117865	2535713	3.3	maglia sistematica
S10	4117900	2535798	3.2	maglia sistematica
SR11	4118087	2535829	3.0	maglia ragionata
SR12	4118087	2535870	2.6	maglia ragionata
SR13	4118118	2535866	2.7	maglia ragionata
SR14	4118072	2535843	2.8	maglia ragionata
SR15	4118047	2535816	3.2	maglia ragionata
SR16	4118077	2535770	3.2	maglia ragionata
SR17	4118053	2535768	3.2	maglia ragionata
SR18	4118052	2535790	3.2	maglia ragionata
SR19	4118177	2535336	13.6	maglia ragionata
SR20	4118061	2535333	6.8	maglia ragionata
SR21	4118046	2535451	5.8	punto di indagine aggiuntivo
SR22	4118052	2535511	5.1	punto di indagine aggiuntivo
SR23	4118051	2535551	5.0	punto di indagine aggiuntivo
SR24	4118101	2535549	5.0	punto di indagine aggiuntivo
SR25	4118151	2535460	8.8	punto di indagine aggiuntivo
SR26	4118150	2535402	12.0	punto di indagine aggiuntivo
SR27	4118147	2535501	5.5	punto di indagine aggiuntivo
SR28	4118023	2535450	6.1	punto di indagine aggiuntivo
B1	4118044	2535608	3.6	pozzo barriera idraulica
B2	4118001	2535605	3.2	pozzo barriera idraulica, coincidente con SS5
B3	4117967	2535603	3.0	pozzo barriera idraulica
D1	4118072	2535393	3.2	solo per PCDD/PCDF
D2	4118103	2535468	5.2	solo per PCDD/PCDF
D3	4117900	2535785	6.2	solo per PCDD/PCDF

Tabella 7: coordinate dei punti di sondaggio

Oltre ai piezometri di nuova realizzazione, come previsto dal Piano di Caratterizzazione, sono stati indagati, per mezzo di prelievi e misure, anche altri piezometri preesistenti all'interno dell'area di interesse, nonché i pozzi di emungimento che forniscono acqua di processo all'impianto.

I predetti piezometri preesistenti sono stati realizzati da Esso Italia, nell'ambito degli interventi attuati nel corso dei primi anni '90, a seguito dell'episodio di contaminazione della falda da parte di prodotti petroliferi, cui si è fatto cenno al paragrafo 1.5.

E' stato anche sottoposto a campionamento un antico pozzo a bocca larga, originariamente destinato al prelievo di acqua per l'irrigazione e che intercetta la prima falda, situato all'interno dell'area di interesse e denominato "pozzo romano".

Le coordinate dei piezometri e pozzi preesistenti, riportate nella Tabella seguente, sono state rilevate per mezzo di strumentazione GPS Differenziale; la loro localizzazione è riportata nella planimetria di Tavola XI.

<i>Piezometro</i>	<i>coordinate Gauss-Boaga Roma 40 fuso est</i>		<i>note</i>
	<i>N</i>	<i>E</i>	
PZA	4118098	2535468	piezometro Esso
PZB	4118037	2535414	piezometro Esso
PZC	4118018	2535480	piezometro Esso
PZD	4118070	2535561	piezometro Esso
PZE	4117992	2535532	piezometro Esso
pozzo romano	4118068	2535355	antico pozzo di irrigazione
P5	4118051	2535358	pozzo di emungimento
P6	4118088	2535699	pozzo di emungimento
P8	4118127	2535428	pozzo di emungimento
P9	4117987	2535538	pozzo di emungimento
P10	4117869	2535644	pozzo di emungimento

Tabella 8: coordinate dei pozzi e piezometri preesistenti

3.1.2 Esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo

Le caratteristiche tecniche delle attrezzature di perforazione impiegate sono descritte nell'Allegato 1.

In tutte le fasi di perforazione sono stati adottati tutti gli accorgimenti necessari ad evitare fenomeni di contaminazione indotta generata dall'attività di perforazione (trascinamento in profondità del potenziale inquinante o collegamento di livelli di falda a diverso grado di inquinamento).

Le operazioni di sondaggio sono state eseguite rispettando alcuni criteri di base essenziali al fine di rappresentare correttamente la situazione esistente in sito, in particolare:

- i sondaggi sono stati condotti in modo da garantire il campionamento in continuo di tutti i litotipi oggetto delle perforazioni, garantendo il minimo disturbo del suolo e sottosuolo interessati.
- la composizione chimica e biologica del materiale prelevato non deve essere alterata a causa di surriscaldamento, di dilavamento o di contaminazione da parte di sostanze e attrezzature utilizzate durante il campionamento;
- la profondità di prelievo nel suolo deve essere determinata con la massima accuratezza possibile, non peggiore di 0,1 metri;
- il campione prelevato deve essere conservato con tutti gli accorgimenti necessari affinché non subisca alterazioni;
- nell'esecuzione dei sondaggi, è stata adottata ogni cautela al fine di non provocare la diffusione di inquinanti a seguito di eventi accidentali.

Nel corso degli interventi di prelievo dei campioni tutto il materiale estratto è stato esaminato e tutti gli elementi che lo caratterizzano sono stati riportati su un apposito rapporto.

In particolare è stata sempre segnalata la presenza nei campioni di evidenti contaminazioni.

I carotaggi sono stati eseguiti a secco, evitando l'utilizzo di fluidi che potrebbero alterare le caratteristiche chimiche dei materiali da campionare. Solo in casi di assoluta necessità, qualora la consistenza del terreno impedisse l'avanzamento (trovanti, strati rocciosi), è stata consentita la circolazione temporanea ad acqua pulita, sino al superamento dell'ostacolo. Si è ripresa, quindi, la procedura a secco.

Per le perforazioni, sono state impiegate attrezzature del tipo a rotazione, con caratteristiche idonee all'esecuzione di perforazioni del diametro di almeno 200 mm e della profondità di almeno 20 metri, sia in materiale lapideo che non lapideo.

Le corone e gli utensili per la perforazione a carotaggi sono stati scelti di volta in volta in base alle necessità evidenziate, e sono stati impiegati rivestimenti, corone e scarpe non verniciate.

Durante la perforazione, la fine di evitare che il terreno subisca surriscaldamento, la velocità di rotazione è sempre stata mantenuta su valori moderati in modo da limitare l'attrito tra suolo ed attrezzo campionario.

Al fine di evitare il trascinarsi in profondità di contaminanti di superficie, oltre che per evitare franamenti delle pareti del foro nei tratti non lapidei, la perforazione è stata eseguita impiegando una tubazione metallica provvisoria di rivestimento. Tale tubazione provvisoria, avente diametro di 178 mm, è stata infissa dopo ogni manovra, fino alla profondità ritenuta necessaria per evitare franamenti del foro. Sono state adottate modalità di infissione tali che il disturbo arrecato al terreno fosse contenuto nei limiti minimi.

Nel caso di perforazioni di durata superiore alla giornata lavorativa, a fine giornata è stata eseguita la misura del livello piezometrico e il perforo è stato protetto da eventuali contaminazioni esterne. Il giorno successivo, alla ripresa del lavoro, è stato registrato nuovamente il livello piezometrico, annotando il tutto nella documentazione dell'attività.

Qualora nelle operazioni si accumulassero rifiuti, si è proceduto alla gestione del materiale secondo le norme vigenti per il trattamento dei rifiuti, in attesa dello smaltimento.

Prima di ogni sondaggio, le attrezzature sono state lavate con acqua in pressione e/o vapore acqueo per evitare contaminazioni artefatte.

Durante la perforazione la velocità di avanzamento e la pressione sulle aste sono state mantenute costantemente sul minimo compatibile con il materiale attraversato al fine di non alterarne lo stato e di ridurre i disturbi generati da velocità eccessiva o pressioni non idonee.

Sono stati messi in atto accorgimenti di carattere generale per evitare l'immissione nel sottosuolo di composti estranei, quali:

- la rimozione dei lubrificanti dalle zone filettate;
- l'eliminazione di gocciolamenti di oli dalle parti idrauliche;
- la pulizia dei contenitori per l'acqua;
- la pulizia di tutti le parti delle attrezzature tra un campione e l'altro.

Il materiale raccolto dopo ogni battuta, è stato estruso senza ricorrere a liquidi, quindi disposto in un recipiente che permettesse la deposizione delle carote prelevate senza disturbarne la disposizione stratigrafica. È stato utilizzato un recipiente di materiale inerte (PVC), idoneo ad evitare la contaminazione dei campioni prelevati. Per evitare la contaminazione tra i diversi prelievi, il recipiente per la deposizione delle carote è stato lavato, decontaminato e asciugato tra una deposizione e l'altra. Il materiale estruso è stato riposto nel recipiente in modo da poter ricostruire la colonna stratigrafica del terreno perforato.

Ad ogni battuta, è stata annotata la descrizione del materiale recuperato, indicando colore, granulometria, stato di addensamento, composizione litologica, ecc., riportando i dati in un apposito modulo.

Tutte le carote, estratte sono state fotografate, complete delle relative indicazioni grafiche di identificazione. Le foto sono state eseguite prima che i campioni estratti alterassero il colore per la perdita di umidità.

Tutti i campioni estratti sono stati sistemati, nell'ordine di estrazione, in adatte cassette catalogatrici distinte per ciascun sondaggio, nelle quali sono state indicati chiaramente e in modo indelebile i dati di identificazione del perforo e dei campioni contenuti e, per ogni scomparto, le quote di inizio e termine del campione contenuto.

Le cassette sono state trasferite presso un deposito in luogo chiuso, ivi immagazzinate per la conservazione e; sono rimaste a disposizione di ENEL Produzione.

Al termine delle operazioni, per i perfori nei quali non si dovesse installare un piezometro, si è proceduto alla chiusura in sicurezza del foro mediante miscela cemento-bentonite per tutta la profondità,

in modo da evitare la creazione di vie preferenziali per la migrazione dell'acqua di falda e di eventuali contaminanti.

Per ogni perforo è stata compilata la stratigrafia del sondaggio stesso secondo le usuali norme AGI.

Le stratigrafie dei sondaggi eseguiti e la relativa documentazione fotografica sono riportati nell'Allegato 1.

3.1.3 Profondità dei sondaggi

La profondità dei sondaggi varia in funzione delle caratteristiche del sottosuolo e della tipologia di indagine che si intende eseguire nello specifico punto di campionamento.

Il Piano di Caratterizzazione era a suo tempo stato redatto sulla base di alcune indicazioni di ordine generale:

- la necessità di caratterizzare l'acquifero più superficiale, potenzialmente più soggetto ad impatto legato all'attività produttiva della centrale;
- la necessità di campionare i terreni alle diverse profondità fino al letto della falda superficiale (difficilmente si avranno contaminazioni del suolo a profondità superiori);
- la necessità di identificare i diversi tipi di contaminati in funzione della potenziale fonte di inquinamento, in tal caso le sostanze indicatrici avranno comportamenti diversi in funzione della loro natura chimico-fisica e quindi potranno interessare profondità differenti.

Alla luce di queste considerazioni la profondità massima stabilita per punti della maglia sistematica di indagine era pari a 9-10 metri da p.c.. Nei casi in cui gli strati di argilla che costituiscono il letto dell'acquifero siano stati raggiunti prima della profondità massima prevista, i sondaggi sono stati interrotti alla profondità raggiunta, al fine di non interrompere la continuità dei suddetti strati impermeabili. Numerosi, i sondaggi sono stati spinti oltre la profondità massima prevista di 9 m, con l'intento di raggiungere, se possibile, gli strati impermeabili che costituiscono il fondo dell'acquifero; in alcuni casi, comunque, ciò non è stato possibile a causa della presenza di cospicui trovanti, che hanno reso impraticabile l'avanzamento a secco del perforo.

Per i sondaggi della maglia ragionata condotti nell'area del parco combustibili, il Piano di Caratterizzazione indicava una profondità pari a 5 m da p.c.; ciò per il fatto che il loro scopo è di verificare se le matrici suolo e acqua siano soggette a contaminazione da parte dell'Olio Combustibile Denso, il quale, data la sua scarsa mobilità, potrebbe interessare i primi metri di sottosuolo.

Per numerosi punti di indagine sono state introdotte modifiche in corso d'opera rispetto alla profondità prevista, in funzione delle condizioni lito-stratigrafiche incontrate.

I sondaggi aggiuntivi eseguiti nell'area che presentava evidenze di contaminazione, sono stati spinti fino ad incontrare i primi livelli impermeabili (argille) al fondo dell'acquifero superficiale.

Le caratteristiche esecutive dei sondaggi sono riassunte nella tabella seguente.

sondaggio	profondità max da p.c. (m)	data di esecuzione	piezometro	note
SS1	5.5	23/05/2003	SI	---
SS2	6.8	22/05/2003	SI	---
SS3	8.0	27-28/05/2003	NO	---
SS4	10.0	22/05/2003	NO	---
SS5	10.0	28/05/2003	NO	coincidente con B2
SS7	13.5	04/06/2003	SI	---
SS8	12.8	28-29/05/2003	SI	---
SS9	10.0	30/05/2003	NO	---
SS10	13.5	03/06.2003	SI	---
SR11	5.0	09/06/2003	SI	---
SR12	18.7	09-10/06/2003	SI	---
SR13	6.0	06/06/2003	NO	---
SR14	5.0	06/06/2003	NO	---
SR15	6.0	05/06/2003	SI	mancato recupero della carota
SR16	5.5	05/06/2003	NO	---
SR17	6.0	05/06/2003	SI	---
SR18	5.0	06/06/2003	NO	---
SR19	4.5	26/05/2003	SI	---
SR20	10.5	26-27/05/2003	SI	---
SR21	8.0	19/06/2003	SI	punto aggiuntivo
SR22	7.3	20/06/2003	SI	punto aggiuntivo
SR23	6.5	20/06/2003	NO	---
SR24	6.0	23/06/2003	NO	---
SR25	4.0	23/06/2003	NO	---
SR26	2.7	23/06/2003	NO	---
SR27	7.0	23/06/2003	NO	---
SR28	12.0	24/06/2003	SI	punto aggiuntivo
B1	9.5	17/06/2003	SI	pozzo barriera
B2	8.0	16/06/2003	SI	pozzo barriera coincidente con SS5
B3	14.0	17-18/06/2003	SI	pozzo barriera

Tabella 9: caratteristiche esecutive dei sondaggi

3.1.4 Prelievo di campioni di terreno mediante sondaggi a carotaggio continuo

In corrispondenza di ogni sondaggio, sono stati prelevati almeno 3 campioni di terreno come segue:

1. un campione nel materiale di riporto superficiale entro il primo metro di profondità,
2. un campione in corrispondenza della frangia capillare, cioè all'interno della zona di oscillazione della falda o comunque dell'interfaccia zona satura / zona insatura,
3. un campione nel materiale costituente la base dell'acquifero superficiale o, quando non venisse incontrato entro la profondità massima prevista, a fondo foro.

In corrispondenza del sondaggio SS15, non è stato possibile il recupero della carota relativa alle profondità da 1 m fino al fondo foro, a causa della natura molto sciolta del materiale saturo d'acqua. Altresì, non è stato possibile ricollocare il sondaggio in un punto diverso nelle adiacenze della posizione prevista, a causa della estesa presenza di sottoservizi in quella zona di impianto. Per il sondaggio SS15, quindi, è stato possibile prelevare solo il campione relativo al primo metro di profondità.

Nei sondaggi aggiuntivi, specificamente mirati alla determinazione della presenza di contaminazione dell'acquifero da parte di idrocarburi petroliferi, sono stati campionati solamente gli stati 2 e 3, corrispondenti al tetto e al fondo dell'acquifero. L'unica eccezione si è verificata per il sondaggio SR26, nel quale lo strato acquifero compreso tra i limi superiori e le argille impermeabili presentava uno spessore così esiguo (circa 20 cm) da non consentire di eseguire due prelievi separati; in questo caso è stato eseguito un solo prelievo che ha fornito un campione integrato relativo a tutto lo spessore dell'acquifero in questo punto di indagine.

Nello scegliere la profondità esatta alla quale prelevare il campione di terreno, si è data preferenza ai livelli di terreno a granulometria fine, in quanto questi trattengono maggiormente le sostanze contaminanti eventualmente presenti.

In totale sono stati perciò prelevati 70 campioni di terreno, come specificato nella Tabella seguente.

Ogni campione di terreno prelevato e sottoposto alle analisi è costituito da un campione composito nell'intervallo di profondità indicato.

sondaggio	campione	profondità di prelievo (m da p.c.)	
		da	a
SS1	SS1-1	0.1	0.5
	SS1-2	3.6	4.0
	SS1-3	4.8	5.1
SS2	SS2-1	0.5	1.0
	SS2-2	3.7	4.0
	SS2-3	5.2	5.6
SS3	SS3-1	0.1	0.8
	SS3-2	5.4	5.7
	SS3-3	6.5	6.7
SS4	SS4-1	0.5	1.0
	SS4-2	5.0	5.5
	SS4-3	9.5	9.8
SS5	SS5-1	0.4	1.0
	SS5-2	6.0	6.3
	SS5-3	6.8	7.1
SS7	SS7-1	0.6	1.0
	SS7-2	6.1	6.5
	SS7-3	13.1	13.5
SS8	SS8-1	0.5	1.0
	SS8-2	4.3	4.6
	SS8-3	12.5	12.8
SS9	SS9-1	0.2	0.8
	SS9-2	4.0	4.5
	SS9-3	9.5	10.0
SS10	SS10-1	0.2	0.5
	SS10-2	3.0	3.2
	SS10-3	12.5	12.8
SR11	SR11-1	0.5	0.8
	SR11-2	3.0	3.2
	SR11-3	3.4	3.6
SR12	SR12-1	0.5	1.0
	SR12-2	4.1	4.3

sondaggio	campione	profondità di prelievo (m da p.c.)	
		da	a
SR12-3	SR12-3	4.3	4.5
	SR13-1	0.5	1.0
	SR13-2	4.0	4.2
SR13-3	SR13-3	5.0	5.2
	SR14-1	0.5	1.0
	SR14-2	4.3	4.5
SR14-3	SR14-3	4.6	4.7
	SR15-1	0.7	0.9
	SR16-1	0.6	1.0
SR16-2	SR16-2	3.8	4.0
	SR16-3	4.0	4.2
	SR17-1	0.6	1.0
SR17-2	SR17-2	3.5	3.8
	SR17-3	4.0	4.2
	SR18-1	0.7	1.0
SR18-2	SR18-2	3.7	3.9
	SR18-3	4.0	4.2
	SR19-1	0.3	1.0
SR19-2	SR19-2	2.7	3.0
	SR19-3	3.3	3.6
	SR20-1	0.2	1.0
SR20-2	SR20-2	3.4	3.8
	SR20-3	8.3	8.9
	SR21-1	3.0	3.2
SR21-2	SR21-2	5.4	5.6
	SR22-1	3.0	3.4
SR22-2	SR22-2	6.0	6.3
	SR23-1	3.8	4.0
SR23-2	SR23-2	5.1	5.4
	SR24-1	4.0	4.4
SR24-2	SR24-2	5.5	5.7
	SR25-1	1.8	2.0
SR25-2	SR25-2	2.5	2.7
	SR26-1	1.4	1.6
SR27-1	SR27-1	2.5	2.8
	SR27-2	6.3	6.5
SR28-1	SR28-1	3.6	3.9
	SR28-2	9.5	10.0

Tabella 10: profondità di prelievo dei campioni di terreno

Il prelievo dei campioni è stato eseguito durante le fasi di perforazione. I campioni sono stati prelevati dopo la deposizione della carota nella cassetta catalogatrice e sono stati trasferiti in appositi contenitori, sigillati e univocamente siglati.

In tutte le operazioni di prelievo è stata rigorosamente mantenuta la pulizia delle attrezzature e dei dispositivi di prelievo, eseguita con mezzi o solventi compatibili con i materiali e le sostanze di

interesse, in modo da evitare fenomeni di contaminazione incrociata o perdita di rappresentatività del campione.

Gli incrementi di terreno prelevati sono stati trattati e confezionati in campo a seconda della natura e delle particolari necessità imposte dai parametri analitici da determinare.

Il prelievo degli incrementi di terreno e ogni altra operazione ausiliaria (separazione del materiale estraneo, omogeneizzazione, suddivisione in aliquote, ecc.) sono state eseguite in accordo con la Procedura ISO/DIS 10381-2 *Soil Quality - Sampling - Guidance on sampling of techniques*.

Particolare cura è stata posta al prelievo delle aliquote destinate alla determinazione dei composti organici volatili, che sono stati prelevati al più presto, dopo la disposizione delle carote nelle cassette catalogatrici, per mezzo di un sub-campionatore e immediatamente sigillati in apposite fiale dotate di sottotappo in teflon, in accordo con la procedura EPA SW846 - Method 8035A *Closed-System Purge-and-Trap and Extraction for Volatile Organics in Soil and Waste Samples*.

Per le determinazioni diverse da quella dei composti organici volatili, il materiale prelevato è stato preparato scartando in campo i ciottoli ed il materiale grossolano di diametro maggiore a circa 3 cm, quindi sottoponendo il materiale a quartatura/omogeneizzazione e suddividendolo infine in tre aliquote, delle quali:

- a) una destinata alle determinazioni quantitative eseguite dal laboratorio CESI
- b) una a disposizione delle Autorità di Controllo per eventuali analisi di verifica
- c) una destinata all'archiviazione per eventuali futuri approfondimenti analitici, rimasta a disposizione di ENEL.

Tutte le operazioni di preparazione e trattamento sono state effettuate presso il laboratorio chimico di centrale.

Le aliquote ottenute sono state immediatamente poste in refrigeratore alla temperatura di 4°C e così mantenute durante tutto il periodo di trasposto e conservazione, fino al momento dell'analisi di laboratorio.

3.1.5 *Prelievo di campioni di terreno superficiale destinate alla determinazione di Diossine e Furani*

Per il prelievo dei campioni di terreno destinati alla determinazione delle Diossine e dei Furani, si è operato in accordo con la procedura proposta da ARPA Sicilia - DAP Siracusa, come riportato nel Verbale di Riunione del 17/04/2003.

Il prelievo è stato eseguito per mezzo di scavi manuali di circa 1 m x 1 m, della profondità massima di 10 cm circa. Il materiale risultante da questi scavi è stato omogeneizzato e suddiviso mediante le usuali tecniche di quartatura. In totale, sono stati eseguiti n° 3 prelievi; la loro localizzazione è riportata nella planimetria di Tavola X.

3.1.6 *Prove di permeabilità tipo Lefranc*

Le prove di permeabilità sono state finalizzate alla determinazione dei parametri caratteristici dell'acquifero/i ed in particolare della sua permeabilità e trasmissività.

Rispetto a quanto previsto dal Piano di caratterizzazione, la distribuzione delle prove di permeabilità ha subito modifiche in corso d'opera, in funzione e a giudizio del geologo che ha seguito le indagini, con l'intento di ottenere una soddisfacente caratterizzazione dell'acquifero presente nella parte ovest dell'area di proprietà ENEL, che risultava presentare evidenza di contaminazione da parte di prodotti petroliferi.

Sono state eseguite anche due prove negli strati di limi che delimitano superiormente detto acquifero.

Le prove sono state eseguite in avanzamento, entro fori di sondaggio rivestiti fino alla sommità della sezione di prova. E' stato utilizzato il metodo a livello variabile.

Le prove di permeabilità di tipo Lefranc sono state concentrate nell'area dove si era riscontrata presenza di contaminante organico nella zona di interfaccia tra saturo e non saturo.

Le prove di permeabilità sono state condotte presso i sondaggi e alle profondità specificate nella Tabella seguente.

sondaggio	Profondità di prova in metri da p.c.
SS1	2.0 - 2.5
SS1	4.0 - 4.5
SS2	2.5 - 3.0
SS2	4.5 - 5.0
SR20	4.5 - 5.0
SR22	4.0 - 4.5
B1	6.0 - 6.5
B2 ≈ SS5	6.0 - 6.5
B3	8.0 - 9.0

Tabella 11: Ubicazione delle prove Lefranc

I relativi rapporti di prova sono riportati nell'Allegato 1

3.1.7 Installazione di piezometri

La tubazione utilizzata per la realizzazione dei piezometri ha un diametro interno nominale pari a 100 mm, con giunzione a manicotto esterno; la parete ha uno spessore minimo di 5 mm.. La tubazione è finestrata, mediante microfessurazioni, alle quote più avanti specificate. E' realizzata in materiali plastici inerti dal punto di vista chimico (PVC). La larghezza delle microfessurazioni è tipicamente di 0.4 mm con spaziatura di 9 mm. La chiusura di fondo tubo è eseguita mediante fondello cieco impermeabile.

Per la parte filtrante, in nessun caso sono stati impiegati filtri artificiali (geotessile).

Per la realizzazione del filtro a ridosso della zona finestrata del tubo è stato utilizzato ghiaietto siliceo, con granulometria uniforme, e forme arrotondate.

In corrispondenza del tratto di tubo cieco nella zona insatura, è stato formato un tappo impermeabile costituito da bentonite o miscela cemento/bentonite.

In generale, l'estremità del tubo cieco fuoriesce dal piano di campagna di almeno 30 cm ed è stato installato un pozzetto di protezione in metallo verniciato, munito di chiusura tramite lucchetto. Laddove fosse necessario evitare l'ingombro in superficie, al fine di lasciare libera la viabilità, l'estremità della tubazione è stata alloggiata in un pozzetto interrato in calcestruzzo protetto da chiusino in ghisa, idoneo per resistere all'eventuale passaggio di automezzi.

In tutti i casi, l'estremità della tubazione è stata munita di tappo filettato di chiusura.

Completata l'installazione della tubazione, si è proceduto alle operazioni di primo spurgo, finalizzate a rimuovere il sedimento presente nel tubo finestrato, nei filtri e nel terreno immediatamente adiacente al sondaggio, al fine di assicurare la possibilità di prelevare campioni di acqua rappresentativi e privi di materiale in sospensione. Le operazioni di spurgo sono state eseguite con una pompa centrifuga sommersa.

Sulle teste è stata collocata un'apposita targhetta indelebile e inamovibile, riportante la quota altimetrica della testa pozzo ed il codice univoco identificativo dello stesso.

Ad installazione ultimata, è stata determinata la quota relativa alla bocca tubo di ciascun piezometro. La quota, espressa in metri sul livello del mare, è stata riferita alla borchia di riferimento presente nell'area di impianto, alla base della ciminiera del Gruppo 2, fatta parie a m 3.30 s.l.m..

Le caratteristiche costruttive di ciascun piezometro sono riportate nella seguente Tabella seguente.

piezometro	profondità da p.c. (m)	intervallo di finestratura (m)	quota di bocca pozzo (m.s.l.m.)	note
S1	5.5	0.5 - 5.5	6.57	---
S2	6.5	0.5 - 6.5	5.82	---
S3	8.0	0.5 - 8.0	4.20	---
S7	12.5	0.5 - 12.5	2.93	---
S8	12.5	0.5 - 12.5	3.75	---
S10	12.5	0.5 - 12.5	3.70	---
R11	5.5	0.5 - 5.5	3.21	---
R12	15.5	0.5 - 15.5	3.07	---
R15	6.0	1.0 - 6.0	2.77	---
R17	6.0	1.0 - 6.0	3.18	---
R19	4.5	0.5 - 4.5	14.11	---
R20	10.5	0.5 - 10.5	7.27	---
R21	7.5	0.5 - 7.5	6.25	punto aggiuntivo
R22	6.5	0.5 - 6.5	5.52	punto aggiuntivo
R28	9.5	4.5 - 9.5	6.45	punto aggiuntivo
B1	8.7	0.7 - 8.7	3.37	pozzo barriera
B2	7.5	0.5 - 7.5	3.31	pozzo barriera
B3	14.0	2.0 - 14.0	2.87	pozzo barriera

Tabella 12: caratteristiche costruttive dei piezometri installati

Nei punti di sondaggio aggiuntivi identificati con le sigle SR21, SR22 e SR28, a seguito della evidente presenza di contaminazione, sono stati installati piezometri (rispettivamente identificati come R21, R22 e R28) intesi allo scopo di controllare l'eventuale presenza di surmatante ed effettuare il recupero.

I pozzi B1, B2 e B3 sono stati realizzati come parte di un'eventuale barriera idraulica per la possibile messa in sicurezza della falda.

Per quanto riguarda i piezometri preesistenti, realizzati anni addietro da ESSO Italia e inseriti nel presente piano di indagini, essi hanno diametro di 2"; la loro attuale profondità di fondo è stata misurata per mezzo di scandaglio, ed è riportata nella tabella seguente. L'intervallo di finestratura non è noto.

piezometro	profondità max da p.c. (m)	intervallo di finestratura (m)	quota di bocca pozzo (m.s.l.m.)	note
PZA	4.35	non noto	5.69	---
PZB	4.55	non noto	6.65	non produttivo
PZC	5.65	non noto	6.24	---
PZD	4.95	non noto	4.99	---
PZE	6.75	non noto	5.53	---

Tabella 13: caratteristiche dei piezometri preesistenti

3.1.8 Misure di soggiacenza della falda

Per la definizione della superficie della falda freatica, sono state eseguite misure di soggiacenza della falda, con precisione di almeno 1 cm, presso i piezometri installati.

Il livello statico dell'acqua all'interno di tutti i piezometri è stato misurato per mezzo di un freatimetro, nell'arco della stessa giornata del 19 giugno 2003. In una data successiva sono stati misurati solo quei piezometri la cui realizzazione, al momento della prima misura, non era ancora stata completata.

Tutte le misure sono state riferite alla bocca del tubo piezometrico, della quale è stata appositamente rilevata la quota sul livello del mare.

In ognuno dei piezometri è stata rilevata, mediante apposita sonda di interfaccia, l'eventuale presenza di fase organica surnatante al di sopra del livello dell'acqua; qualora presente, né è stato determinato lo spessore.

Queste operazioni, compiute il giorno 19 giugno 2003, sono state supervisionate dal personale tecnico ARPA Sicilia - DAP Siracusa, come risulta dallo specifico verbale di sopralluogo.

3.1.9 Prelievo di campioni di acque di falda

Prima del prelievo di acqua sotterranea, i piezometri sono stati adeguatamente spurgati mediante una pompa centrifuga sommersa, avendo cura di rimuovere un volume di acqua pari almeno a circa 3 volte il volume del piezometro e fino al raggiungimento della stabilità nei valori dei principali parametri di qualità dell'acqua, misurati in linea sull'acqua effluente (vedi paragrafo successivo).

Il prelievo è sempre avvenuto immediatamente dopo l'operazione di spurgo.

In generale, ove possibile è sempre stata data preferenza al campionamento di tipo statico, a causa dell'elevato rischio di contaminazione incrociata associato al prelievo tramite una pompa e le tubazioni associate. Nel caso dei piezometri preesistenti (piezometri Esso, identificati dalla sigle PZA, PZB, PZC, PZD e PZE) si è optato per il prelievo dinamico, a causa delle caratteristiche costruttive dei piezometri stessi (diametro limitato, di soli 2"), per le quali l'operazione di rimozione della pompa e di immersione e ritiro del dispositivo di prelievo avrebbe causato l'eccessiva risospensione del materiale di fondo, rendendo vana l'operazione di spurgo. Non è stato possibile ottenere né lo spurgo né il campionamento del piezometro Esso PZB, in quanto è risultato essere pressoché privo di acqua.

Per i campionamenti statici sono stati impiegati dispositivi di prelievo (bailer) monouso, nuovi e sigillati nelle confezioni originali, e corde di manovra anch'esse monouso, costituite da cavo in Nylon monofilo.

I prelievi dinamici sono stati eseguiti alla bocca di uscita della tubazione della stessa pompa utilizzata per lo spurgo del piezometro.

I pozzi di emungimento della centrale sono stati sottoposti a campionamento dinamico, attraverso un apposito punto di presa campioni esistente, durante il periodo di normale funzionamento delle pompe di impianto. Anche in questi casi, la stabilità nei valori dei principali parametri di qualità dell'acqua, è stata verificata per mezzo di misure in linea sull'acqua effluente.

Il cosiddetto "pozzo romano", consistente in un antico pozzo scavato a bocca larga, che intercetta la falda superficiale, è stato campionato per mezzo di un'asta telescopica, recante alla sua estremità i contenitori per il prelievo dei campioni. Date le dimensioni ed il consistente volume di acqua residente in tale manufatto, non si è potuto procedere ad alcuna operazione di spurgo preliminare.

<i>Piezometro/ Pozzo</i>	<i>Data prelievo</i>	<i>Ora</i>	<i>Modalità di campionamento</i>	<i>note</i>
S1	19/06/2003	15:00	statico	falda semiconfinata
S2	23/06/2003	16:00	statico	falda semiconfinata
S3	19/06/2003	09:20	statico	falda semiconfinata
S7	25/06/2003	10:00	statico	falda semiconfinata
S8	18/06/2003	13:10	statico	falda semiconfinata
S10	18/06/2003	16:40	statico	falda semiconfinata
R11	24/06/2003	11:00	statico	falda superficiale
R12	24/06/2003	12:00	statico	falda semiconfinata
R15	26/06/2003	14:35	statico	falda superficiale
R17	24/06/2003	16:00	statico	falda superficiale
R19	19/06/2003	17:30	statico	falda semiconfinata
R20	20/06/2003	09:20	statico	falda semiconfinata
PZA	15/05/2003	17:10	dinamico	falda semiconfinata
PZB	non eseguito	---	---	non produttivo
PZC	16/05/2003	12:00	dinamico	falda semiconfinata
PZD	14/05/2003	17:10	dinamico	falda semiconfinata
PZE	15/05/2003	12:15	dinamico	falda semiconfinata
P5	19/05/2003	13:00	dinamico	falda profonda
P6	19/05/2003	16:05	dinamico	falda profonda
P8	20/05/2003	10:05	dinamico	falda profonda
P9	20/05/2003	11:25	dinamico	falda profonda
P10	19/05/2003	16:50	dinamico	falda profonda
pozzo romano	16/05/2003	11:00	statico	falda semiconfinata

Tabella 14: data di prelievo dei campioni di acque

Immediatamente dopo il prelievo, i campioni sono stati suddivisi in aliquote destinate alle diverse determinazioni chimiche e sottoposti alle procedure di stabilizzazione previste.

Le aggiunte di reattivi conservanti sono state eseguite solo sulle frazioni di campioni destinate al laboratorio centrale CESI e all'archiviazione presso la centrale; la frazione a disposizione delle Autorità di Controllo per le eventuali analisi di verifica, dietro precisa ed esplicita richiesta di ARPA Sicilia - DAP Siracusa, non è stata addizionata di alcun reattivo conservante.

Secondo le indicazioni del D.M. 471/99, le analisi delle acque sotterranee sono state eseguite sul campione tal quale, per ottenere la determinazione della concentrazione totale delle sostanze inquinanti; la determinazione dei metalli è stata eseguita su campioni di acqua non filtrata e sedimentata per almeno 2 ore.

Ogni campione prelevato è stato suddiviso nelle seguenti aliquote:

sigla aliquota	parametri	trattamento	contenitore	conservazione
A	Metalli (Al, As, B, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl, V, Zn)	decantazione per 2 ore	bottiglia in HDPE da 100 ml	4°C
B	Cromo esavalente e Cianuri	NaOH 10 M 0.1 ml/l	bottiglia in HDPE da 50 ml	4°C
C	Mercurio	decantazione per 2 ore HNO ₃ conc. 10 ml/l	fiala in vetro da 40 ml	
D	Nitriti, Solfati, Fluoruri	nessuno	bottiglia in HDPE da 250 ml	-20°C
F	BTEX+Stirene Idrocarburi Clorurati cancerogeni e non cancerogeni MTBE	HCl dil. 1:1 500 µl	3 fiale in vetro da 40 ml con sottotappo in Teflon sigillate senza bolle d'aria all'interno	4°C mantenere le fiale capovolte
G	Fenoli clorurati Fenoli non clorurati	HCl 1:1 5 ml/l	bottiglia in vetro scuro da 1 l. con sottotappo in Teflon	4°C
L	Idrocarburi totali	HCl 1:1 5 ml/l	bottiglia in vetro scuro da 1 l. con sottotappo in Teflon	4°C
O	Idrocarburi Policiclici Aromatici	nessuno	bottiglia in vetro scuro da 1 l. con sottotappo in Teflon	4°C

Tabella 15: suddivisione in aliquote dei campioni e trattamenti di conservazione

Le aliquote ottenute sono state immediatamente poste in refrigeratore alla temperatura di 4°C e così mantenute durante tutto il periodo di trasporto e conservazione, fino al momento dell'analisi di laboratorio.

Il prelievo degli incrementi di acque sotterranee e ogni altra operazione ausiliaria (filtrazione, aggiunta di reattivi, conservazione, ecc.) sono state eseguite in accordo con la Procedura ISO 5667-11:1993(E) *Water Quality - Sampling - Guidance on sampling of groundwaters*, nonché con le indicazioni contenute nell'Allegato 2 al D.M. 471/99.

3.1.10 Misure in sito di parametri di qualità dell'acqua

Al momento del prelievo, i campioni di acqua sono stati sottoposti a misura elettrometrica dei principali parametri di qualità.

Le misurazioni dei campioni di acqua sono effettuate direttamente in campo, utilizzando tecniche elettrometriche, con misura eseguita direttamente in linea durante lo spurgo dei piezometri, con elettrodi alloggiati in una cella di flusso.

Nel caso del cosiddetto "pozzo romano" per il quale non si è potuta eseguire l'operazione di spurgo, le misure sono state eseguite, immediatamente dopo il prelievo, su di un'aliquota appositamente prelevata.

3.2 Interventi di emergenza adottati a seguito della scoperta della contaminazione da prodotti petroliferi

Durante lo svolgimento dell'attività, sono state raccolte evidenze della presenza di una contaminazione del suolo nei sondaggi ubicati nella parte ovest dell'area di proprietà ENEL Produzione.

Più in particolare:

- durante l'esecuzione dei sondaggi SS1, S2, SR19 ed SR20 è stata riscontrata la presenza di uno strato di terreno contaminato, che interessa l'interfaccia zona satura / zona insatura;
- in uno dei piezometri preesistenti (PZA) è stata riscontrata la presenza una fase organica non miscibile in acqua, surnatante al di sopra della tavola d'acqua; il piezometro PZB presentava tracce di contaminazione della stessa natura.

Le sostanze contaminanti apparivano essere costituite da prodotti petroliferi.

Alla luce di quanto sopra, si è ritenuto di procedere ad un approfondimento delle indagini in corrispondenza dell'area contaminata.

Sono stati pertanto eseguiti sondaggi aggiuntivi (identificati con le sigle da SR21 a SR28), allo scopo di meglio delineare l'estensione areale della zona contaminata, individuando i confini del pennacchio di inquinanti.

In considerazione della superficie totale dell'area contaminata, si è ritenuto sufficiente un dettaglio di indagine secondo una maglia con passo di 50 metri.

Le evidenze visive e organolettiche di presenza di contaminanti sono state supportate in campo mediante misure speditive della presenza i Composti Organici Volatili, per mezzo di rivelatore portatile a fotoionizzazione (PID).

Tutti i sondaggi aggiuntivi di cui sono stati spinti fino a profondità necessaria per raggiungere gli strati impermeabili (argille), che costituiscono il letto dell'acquifero contaminato.

In corrispondenza di ogni sondaggio aggiuntivo, sono stati prelevati 2 campioni di terreno come segue:

- un campione in corrispondenza dell'interfaccia zona satura / zona insatura,
- un campione nel materiale costituente la base dell'acquifero superficiale.

Poiché le indagini aggiuntive sono state mirate alla rivelazione di sostanze contaminanti di origine petrolifera, sui campioni aggiuntivi di terreno prelevati sono state effettuate le determinazioni quantitative di un insieme ridotto di parametri, rispetto a quelli elencati al paragrafo precedente:

- Idrocarburi Totali (suddivisi in leggeri <C12 e pesanti >C12);
- BTEX + Stirene
- Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA);
- Dibenzotiofene e Tiofeni Condensati
- contenuto di acqua.

Inoltre, sono stati realizzati alcuni piezometri (identificati con le sigle B1, B2 e B3) che potessero eventualmente venire inseriti in una barriera idraulica avente lo scopo di intercettare il flusso di acque i falda contaminate, in qualità di misura di messa in sicurezza. Il piezometro B2 ha la stessa ubicazione del sondaggio SS5, che era stato eseguito in precedenza e, non essendo previsto di attrezzarlo con piezometro, era stato successivamente richiuso.

In linea di principio, tale barriera è stata posizionata a valle dell'area contaminata, orientata secondo un transetto allineato con l'asse nord-sud, e può comprendere, oltre ai piezometri B1, B2 e B3, anche i piezometri S3 ed S8 (originariamente previsti dal Piano di Caratterizzazione).

L'eventuale attivazione di una tale barriera idraulica non potrà prescindere dalla valutazione di una serie di fattori, che concorrono alla sua efficacia, i più importanti dei quali sono:

- una simulazione modellistica della falda e la stima del raggio di influenza e della portata dei pozzi che la compongono;
- informazioni complete e aggiornate circa la presenza e la consistenza, a monte del sito, della fonte di tale contaminazione e delle eventuali misure messe in atto per interrompere la dispersione dei contaminanti.

L'avvio del sistema di pompaggio della falda, in assenza di queste valutazioni, appare prematuro e potrebbe rivelarsi quantomeno non efficace.

Successivamente al sopralluogo eseguito il giorno 19/06/2003 da ARPA Sicilia - DAP Siracusa, finalizzato alla verifica della presenza di surnatante nei piezometri preso il sito, da parte di ENEL Produzione è stato messo in atto un programma di rimozione del surnatante. Data la piccola quantità di prodotto organico presente presso un unico piezometro, il diametro limitato di quest'ultimo e la minima capacità di ricarica riscontrata, si è optato per interventi di rimozione con mezzi manuali (bailer), eseguiti ad intervalli regolari (giornalieri).

3.3 Determinazioni analitiche

3.3.1 Parametri da determinare

Il set di parametri da determinare è stato definito nel Piano di Caratterizzazione e nelle sue successive integrazioni, approvate in sede di Conferenza di Servizi "decisoria" tenutasi presso gli uffici della Prefettura di Siracusa in data 20 gennaio 2003 e avente come oggetto: "Procedimento per l'intervento di bonifica di interesse nazionale relativo al sito di Priolo Gragallo", con verbale Prot. 1445/RIBO/DI/B del 12 febbraio 2003. Inoltre, è stato ulteriormente precisato nel corso di contatti con ARPA Sicilia - DAP Siracusa.

L'elenco dei parametri analitici per i **terreni** è il seguente:

- Metalli (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Tl, V, Zn)
- Aromatici
- Fenoli non clorurati
- Fenoli clorurati
- Aromatici Policiclici
- Idrocarburi
- Diossine e Furani (solo su n° 3 campioni superficiali)
- PCB (solo sui campioni superficiali)
- Amianto (solo sui campioni superficiali)
- Dibenzotiofene e Tiofeni Condensati
- Contenuto di acqua.

L'elenco dei parametri analitici per i **campioni di acque** è il seguente:

- Metalli (Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, V, Zn, Cromo esavalente)
- Inquinanti Inorganici (Boro, Cianuri, Nitriti, Solfati, Fluoruri)
- Composti Organici Aromatici
- Alifatici Clorurati Cancerogeni
- Alifatici Clorurati non Cancerogeni
- Alifatici Alogenati Cancerogeni
- Fenoli e Clorofenoli
- Idrocarburi totali
- Idrocarburi Policiclici Aromatici
- MTBE
- pH, Conducibilità Elettrica, Ossigeno Disciolto, Potenziale di Ossidoriduzione, Temperatura (misurati in sito)

3.3.2 Procedure di laboratorio

3.3.2.1 Metalli

Elementi di interesse:

Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, V, Zn;

Sintesi del metodo analitico:

Campioni di acqua: i metalli vengono analizzati direttamente nei campioni acidificati utilizzando uno strumento per spettrometria al plasma con rivelatore di massa (ICP-MS). Solo As e Se a livelli molto bassi di concentrazione vengono analizzati mediante assorbimento atomico con atomizzazione elettrotermica dotato di correzione del fondo per effetto Zeeman.

Nel caso di acque molto saline si procede ad una separazione della matrice mediante resina scambiatrice.

Campioni di terreno:

procedura A) i suoli (<2mm) vengono solubilizzati secondo la procedura riportata nel decreto 13-9-1999 (GU 21-10-1999, punto XI) e poi analizzati mediante spettrometria di emissione al plasma con rivelatore ottico (ICP-OES), con rivelatore di massa (ICP-MS), oppure mediante assorbimento atomico con atomizzazione elettrotermica.

procedura B) i suoli (<2mm) vengono ulteriormente macinati ed analizzati mediante la tecnica di fluorescenza a raggi X (XRF) con la tecnica della pastiglia. Questa procedura è adatta per il controllo di siti contaminati destinati all'uso industriale e per tutti gli elementi tranne il mercurio.

3.3.2.2 Mercurio

Sintesi del metodo analitico

Il Mercurio viene analizzato mediante tecnica strumentale per assorbimento UV, dopo riduzione allo stato elementare e formazione di amalgama

3.3.2.3 Cromo esavalente

Sintesi del metodo analitico

Campioni di acqua: il Cromo VI viene analizzato in soluzione acquosa per via spettrofotometrica, con il metodo alla difenilcarbazide (metodo IRSA 3080 B1).

3.3.2.4 Boro

Sintesi del metodo analitico

Campioni di acqua: il boro viene analizzato mediante spettrometria di emissione al plasma con rivelatore ottico (ICP-OES). In presenza di livelli di concentrazione molto bassi si utilizza spettrometria al plasma con rivelatore di massa (ICP-MS).

3.3.2.5 Cianuri liberi

Sintesi del metodo analitico

Campioni di acqua: i cianuri vengono analizzati secondo il metodo ISO 6703/2 1984, che prevede la reazione con clorammina T e acido barbiturico in presenza di piridina, dopo distillazione.

3.3.2.6 Fluoruri, Nitriti, Solfati

Sintesi del metodo analitico

Campioni di acqua: vengono analizzati direttamente mediante cromatografia ionica, con rivelatore conduttimetrico oppure (solo per i nitriti e nitrati) con rivelatore UV.

3.3.2.7 Composti Organici Aromatici (BTEX)

Composti di interesse

- Benzene
- Xilene (o-, m-, p-),
- Toluene
- Etilbenzene
- Stirene

Sintesi del metodo analitico

Campioni di acqua: estrazione degli analiti mediante tecnica di purge-and-trap, in accordo con metodo EPA - SW 846 n° 5030 e analisi per gascromatografia ad alta risoluzione accoppiata a spettrometria di massa, in accordo con il metodo EPA-SW 846 n° 8260.

Campioni di terreno: i campioni ritenuti di basso livello vengono addizionati di acqua e gli analiti estratti mediante tecnica di purge-and-trap, in accordo con metodo EPA-SW 846 n° 5030 e analizzati mediante gascromatografia ad alta risoluzione accoppiata a spettrometria di massa, in accordo con il metodo EPA-SW 846 n° 8260. I campioni che dalla analisi secondo EPA 5030 risultassero con elevate concentrazioni di analiti sono successivamente estratti con metanolo in ultrasuoni, secondo il metodo EPA-SW 846 n° 5035. Una aliquota della soluzione metanolica viene diluita in acqua e analizzata come i campioni a bassa concentrazione.

3.3.2.8 Alifatici Clorurati cancerogeni e non cancerogeni e Alifatici Alogenati

Composti di interesse

- Clorometano
- Diclorometano
- Triclorometano
- Cloruro di Vinile
- 1,2-Dicloroetano
- 1,1-Dicloroetilene
- 1,2-Dicloropropano
- 1,1,2-Tricloroetano
- Tricloroetilene
- 1,2,3-Tricloropropano
- 1,1,2,2-Tetracloroetano
- Tetracloroetilene (PCE)
- 1,2-Dicloroetano
- 1,1-Dicloroetilene
- 1,1,1-Tricloroetano
- Tribromometano (Bromoformio)
- 1,2-Dibromoetano
- Dibromoclorometano
- Bromodiclorometano

Sintesi del metodo analitico

Campioni di acqua: estrazione degli analiti mediante tecnica di purge-and-trap, in accordo con metodo EPA - SW 846 n° 5030 e analisi per gascromatografia ad alta risoluzione accoppiata a spettrometria di massa, in accordo con il metodo EPA-SW 846 n° 8260.

Campioni di terreno: i campioni ritenuti di basso livello vengono addizionati di acqua e gli analiti estratti mediante tecnica di purge-and-trap, in accordo con metodo EPA-SW 846 n° 5030 e analizzati mediante gascromatografia ad alta risoluzione accoppiata a spettrometria di massa, in accordo con il metodo EPA-SW 846 n° 8260. I campioni che dalla analisi secondo EPA 5030 risultassero con elevate concentrazioni di analiti sono successivamente estratti con metanolo in ultrasuoni, secondo il metodo EPA-SW 846 n° 5035. Una aliquota della soluzione metanolica viene diluita in acqua e analizzata come i campioni a bassa concentrazione.

3.3.2.9 Fenoli e Fenoli clorurati

Composti di interesse:

- Fenolo
- 2,4-Dimetilfenolo
- Metilfenoli (o-, m-, p-Cresolo)
- 2-Clorofenolo
- 2,4-Diclorofenolo
- 2,4,6-Triclorofenolo
- Pentaclorofenolo

Sintesi del metodo analitico

Campioni d'acqua: preliminare estrazione liquido-liquido con cloruro di metilene del campione di acqua a pH 14 (estrazione dei composti neutri e basici), correzione del pH a 2 ed estrazione dei fenoli con

cloruro di metilene, secondo il metodo EPA-SW 846 n° 3510; analisi gascromatografica ad alta risoluzione accoppiata a spettrometria di massa, in accordo con il metodo EPA-SW 846 n° 8270.

Campioni di suolo: estrazione con solvente, con la tecnica della "pressurized fluid extraction (PFE)", secondo il metodo EPA-SW 846 n° 3545, purificazione dell'estratto mediante partizione acido-base (metodo EPA-SW 846 n° 3650) ed analisi mediante gascromatografia ad alta risoluzione accoppiata a spettrometria di massa (HRGC/MS), in accordo con il metodo EPA-SW846 n° 8270.

3.3.2.10 Composti Policiclici Aromatici (IPA)

Composti di interesse

- Benzo(a)antracene
- Benzo(a)pirene
- Benzo(b)fluorantene
- Benzo(k)fluorantene
- Benzo(g,h,i)perilene
- Crisene
- Dibenzo(a)pirene⁴
- Dibenzo(a,h)antracene
- Indeno(1,2,3-c,d)pirene
- Pirene

Sintesi del metodo analitico

Campioni d'acqua: estrazione liquido-liquido con solvente (metodo EPA-SW 846 n° 3510), purificazione dei campioni su colonna di gel di silice (metodo EPA-SW 846 n° 3630) ed analisi mediante gascromatografia ad alta risoluzione accoppiata a spettrometria di massa (HRGC/MS), in accordo con il metodo EPA-SW 846 n° 8270, adattato per la determinazione degli IPA pesanti più tossici.

Campioni di suolo: estrazione con solvente, con la tecnica della "pressurized fluid extraction (PFE)", secondo il metodo EPA-SW 846 n° 3545, purificazione dei campioni su colonna di gel di silice (metodo EPA-SW 846 n° 3630) ed analisi mediante gascromatografia ad alta risoluzione accoppiata a spettrometria di massa (HRGC/MS), in accordo con il metodo EPA-SW846 n° 8270, adattato per la determinazione degli IPA pesanti più tossici.

3.3.2.11 Idrocarburi Totali

Composti di interesse

- Idrocarburi <C₁₂
- Idrocarburi compresi tra C₁₂ e C₂₅
- Idrocarburi > C₂₅

Sintesi del metodo analitico

Campioni di acqua:

- Idrocarburi <C₁₂ : estrazione mediante tecnica di purge-and-trap, in accordo con metodo EPA-SW 846 n° 5030 e analisi mediante gascromatografia ad alta risoluzione con rivelatore FID (metodo EPA-SW 846 n° 8015);
- Idrocarburi >C₁₂ : estrazione liquido-liquido con solvente (metodo EPA-SW 846 n° 3510), (metodo EPA-SW 846 n° 3630) analisi mediante gascromatografia ad alta risoluzione con rivelatore FID (metodo EPA-SW 846 n° 8015).

Campioni di terreno:

- Idrocarburi <C₁₂ : i campioni ritenuti di basso livello vengono addizionati di acqua e gli analiti estratti mediante tecnica di purge-and-trap, in accordo con metodo EPA-SW 846 n° 5030 e analizzati mediante gascromatografia ad alta risoluzione con rivelatore FID (metodo EPA-SW 846 n° 8015). I campioni che dalla analisi secondo EPA 5030 e 8015 risultassero con elevate

⁴ La dizione dibenzo(a)pirene non è corretta chimicamente. In realtà si tratta di quattro composti: dibenzo(a,h)pirene; dibenzo(a,i)pirene; dibenzo(a,l)pirene; dibenzo(a,e)pirene

concentrazioni di analiti sono successivamente estratti con metanolo in ultrasuoni, secondo il metodo EPA-SW 846 n° 5035. Una aliquota della soluzione metanolica viene diluita in acqua e analizzata come i campioni a bassa concentrazione.

- Idrocarburi >C₁₂ : estrazione con solvente, con la tecnica della "pressurized fluid extraction (PFE)", secondo il metodo EPA-SW 846 n° 3545 (metodo EPA-SW 846 n° 3630) e analisi mediante gascromatografia ad alta risoluzione con rivelatore FID (metodo EPA-SW 846 n° 8015);

3.3.2.12 Diossine e Furani

Composti di interesse e relativo I-TEF (International - 2,3,7,8 TCDD Equivalent Factors):

Diossine

2,3,7,8 - TCDD	1
1,2,3,7,8 - PeCDD	0.5
1,2,3,4,7,8 - HxCDD	0.1
1,2,3,7,8,9 - HxCDD	0.1
1,2,3,6,7,8 - HxCDD	0.1
1,2,3,4,6,7,8 - HpCDD	0.01
OCDD	0.001

Furani

2,3,7,8 - TCDF	0.1
2,3,4,7,8 - PeCDF	0.5
1,2,3,7,8 - PeCDF	0.05
1,2,3,4,7,8 - HxCDF	0.1
1,2,3,7,8,9 - HxCDF	0.1
1,2,3,6,7,8 - HxCDF	0.1
2,3,4,6,7,8 - HxCDF	0.1
1,2,3,4,6,7,8 - HpCDF	0.1
1,2,3,4,7,8,9 - HpCDF	0.1
OCDF	0.001

Sintesi del metodo analitico

Campioni di terreno: estrazione in soxhlet a caldo con toluene (metodo EPA-SW 846 n° 8280). Purificazione dell'estratto organico mediante le procedure previste dal metodo (eventuale preliminare lavaggio acido-base, cromatografia liquida su colonna multistrato e allumina), analisi mediante gascromatografia ad alta risoluzione accoppiata a spettrometria di massa (HRGC/LRMS), in accordo con il metodo EPA-SW 846 n° 8280 e calcolo della concentrazione in tossicità equivalente (T.E.) con i fattori riportati sopra.

3.3.2.13 PCB

Sintesi del metodo analitico

Campioni di terreno: estrazione con solvente, con la tecnica della "pressurized fluid extraction (PFE)", secondo il metodo EPA-SW 846 n° 3545, trattamento con acido solforico per distruggere gli interferenti (metodo EPA-SW 846 n° 3665). La determinazione strumentale è effettuata per gascromatografia ad alta risoluzione e rivelatore a cattura di elettroni (HRGC/ECD) secondo il metodo CEI EN 61619, adattato da CESI a campioni ambientali.

3.3.2.14 Amianto

Sintesi del metodo analitico

Campioni di terreno: il contenuto di amianto viene determinato mediante Diffrattometria di Raggi X (XRD) secondo il metodo UNICHIM n° 853 "Determinazione dell'amianto, metodo per diffrazione a raggi X" EM/26, indicato dal D.M. 6/9/1994.

3.3.2.15 Metil TerButil Etere (MTBE)

Sintesi del metodo analitico

Campioni di acqua: estrazione del MTBE mediante tecnica di purge-and-trap, in accordo con metodo EPA - SW 846 n° 5030 e analisi per gascromatografia ad alta risoluzione accoppiata a spettrometria di massa, in accordo con il metodo EPA-SW 846 n° 8260.

3.3.2.16 Tiofeni

Composti di interesse

- Tiofene
- C1-tiofeni
- C2-tiofeni

Campioni di terreno: i campioni ritenuti di basso livello vengono addizionati di acqua e gli analiti estratti mediante gascromatografia ad alta risoluzione accoppiata a spettrometria di massa, in accordo con il metodo EPA-SW 846 n° 8260, adattato alla determinazione di tiofene e alchiltiofeni. I campioni che dalla analisi secondo EPA 5030 risultassero con elevate concentrazioni di analiti sono successivamente estratti con metanolo tecnica di purge-and-trap, in accordo con metodo EPA-SW 846 n° 5030 e analizzati mediante ultrasuoni, secondo il metodo EPA-SW 846 n° 5035. Una aliquota della soluzione metanolica viene diluita in acqua e analizzata come i campioni a bassa concentrazione.

L'identificazione del tiofene viene effettuata per confronto con standard autentico, gli alchiltiofeni vengono identificati in base al loro spettro di massa e quantificati utilizzando il fattore di risposta del tiofene.

3.3.2.17 Benzotiofeni e dibenzotiofeni

Composti di interesse

- Benzotiofene
- C1-Benzotiofeni
- C2-Benzotiofeni
- C3-Benzotiofeni
- C4-Benzotiofeni
- Dibenzotiofene
- C1-Dibenzotiofeni
- C2-Dibenzotiofeni
- C3- Dibenzotiofeni
- C4- Dibenzotiofeni

Sintesi del metodo analitico

Campioni di terreno: estrazione con solvente, con la tecnica della "pressurized fluid extraction (PFE)", secondo il metodo EPA-SW 846 n° 3545, purificazione dei campioni su colonna di gel di silice (metodo EPA-SW 846 n° 3630) ed analisi mediante gascromatografia ad alta risoluzione accoppiata a spettrometria di massa (HRGC/MS), in accordo con il metodo EPA-SW846 n° 8270, adattato per la determinazione di benzotiofene, alchilbenzotiofeni, dibenzotiofene e alchilidibenzotiofeni.

L'identificazione di benzotiofene e dibenzotiofene viene effettuata per confronto con standard autentici, gli alchilbenzotiofeni e gli alchilidibenzotiofeni vengono identificati in base al loro spettro di massa e quantificati utilizzando il fattore di risposta, rispettivamente, di benzotiofene e dibenzotiofene.

3.3.2.18 Contenuto di acqua

Sintesi del metodo analitico

Campioni di terreno: il contenuto di acqua viene determinato nei suoli per via gravimetrica, secondo la procedura riportata nel decreto 13-9-1999 (GU 21-10-1999, punto II.2).

4 RISULTATI DELLE INDAGINI CONDOTTE

4.1 Stratigrafia del sito

La ricostruzione stratigrafica del sito, relativa agli strati superficiali, è stata ottenuta sulla base delle stratigrafie ottenute nello svolgimento della campagna di indagine; per quanto riguarda gli strati profondi, si è fatto riferimento alle indicazioni fornite dal seguente materiale di archivio:

- a) le indagini eseguite sui terreni di fondazione della centrale, le cui elaborazioni sono riportate nella pubblicazione "Terreni ed opere di fondazione della centrale termoelettrica di Augusta", redatta dal Prof. Arrigo Croce nel 1960 (Estratto dal fascicolo n. 6 della Rivista "L'ENERGIA ELETTRICA" – Vol. XXXVII);
- b) una pubblicazione di Arrigo Croce "Opere di fondazione ed altri problemi geotecnici nella centrale Termoelettrica di Augusta";
- c) un'indagine geofisica eseguita nel giugno del 1963;
- d) un'indagine idrogeologica realizzata per caratterizzare le acque di falda emunte dai pozzi della centrale redatta dal Dott. Ursino A. nel 1987;
- e) uno studio geotecnico eseguito per conto della società Elettroambiente, nel maggio 2003, nell'ambito del "Progetto Definitivo del Termovalorizzatore Ubicato nel Sito della Centrale ENEL Produzione di Augusta (Siracusa)".

In base ai dati stratigrafici ottenuti nel corso delle attività svolte e alla documentazione raccolta, è possibile fare alcune considerazioni di massima sulla struttura stratigrafica dei primi 15 m di sottosuolo nell'ambito del sito.

I terreni attraversati dai sondaggi eseguiti appartengono tutti agli strati alluvionali di età olocenica e/pleistocenica (Pleistocene Medio-Superiore) che poggiano su un substrato uniforme costituito dalle Argille grigio azzurre del Pleistocene Inferiore (letto degli acquiferi superficiali e potente tetto delle falde profonde confinate).

Analizzando i ventotto log stratigrafici riportati in Allegato, risulta evidente come il sito di centrale, anche in funzione della sua struttura planoaltimetrica, possa essere suddiviso in diversi settori in funzione della profondità dell'orizzonte impermeabile costituito dalle argille grigio-azzurre; si distinguono infatti:

- *un settore Nord-Occidentale* in cui i depositi alluvionali del Pleistocene medio-superiore sono praticamente assenti o molto rastremati e le argille grigio-azzurre si trovano a quote inferiori ai 3-5 m da p.c. (sondaggi SR26, SR25, SR19, SS1, SS2, SR23, SR24);
- *un settore Sud-Occidentale* in cui la superficie del letto impermeabile si approfondisce a causa della presenza dei depositi alluvionali del Torrente Cantera, recenti e a matrice grossolana (ghiaia e ciottoli in matrice spesso limoso-sabbiosa); questo orizzonte si colloca normalmente tra i 4 e i 6 m da p.c., con una potenza variabile tra 2 e 3 m (sondaggi SR20, SR28, SR21, SS4); il letto impermeabile viene comunque raggiunto a una profondità variabile tra i 9 e i 11 m da p.c. (a esclusione del SS4);
- *un settore centrale* in cui il pacco di depositi alluvionali pleistocenici a matrice più grossolana si sviluppa per uno spessore variabile tra i 7 e i 10 m, quota oltre la quale si raggiunge il substrato argilloso impermeabile (sondaggi SS3, SS5, SS9, B1 e B3); in questo ambito si distinguono, all'interno del pacco di depositi alluvionali, testimonianze delle alluvioni terrazzate del Pleistocene superiore, costituite sostanzialmente da intervalli grossolani di ghiaie, conglomerati e sabbie, aventi spessori anche inferiori al metro;
- *un settore Orientale* in cui il letto impermeabile si approfondisce notevolmente (solo il sondaggio SR12 lo raggiunge a quota 18,5 m da p.c.) e dove si sviluppano i depositi alluvionali in alternanze sabbioso e limose, funzione dell'attività abrasiva-sedimentaria del mare (sondaggi SR11, SR12, SR14, SR16, SR17, SR18, SS7 e SS10).

Concludendo quindi, il letto impermeabile si approfondisce da ovest a est (dall'entroterra verso il mare), tendendo ad emergere in corrispondenza del dosso morfologico ubicato a nord-ovest del sito e subendo un approfondimento, a sud e sud-ovest, ad opera dell'attività di deposito del Torrente Cantera, che le ha incise, erodendole, per poi ricoprirle con depositi alluvionali grossolani.

La struttura stratigrafica sopra descritta è ulteriormente confermata dai 4 sondaggi a scopo geotecnico, di 25 m di profondità ed eseguiti nel maggio 2003 da Elettroambiente: questi sondaggi, ubicati nel settore occidentale, mostrano la costante presenza del letto di argille azzurre a profondità variabili tra i 5 e gli 8 m da p.c., con spessori sicuramente superiori ai 15 m (infatti nessuno di questi sondaggi raggiunge il letto dell'orizzonte delle argille marine). Un elemento di particolare interesse è la costante presenza di uno strato di alterazione (potente anche alcuni metri) al tetto delle argille marine, costituito da argille limose giallastre.

Fatte queste premesse è possibile ora fornire una sintesi della successione stratigrafica sovrastante il letto impermeabile argilloso, fornendo alcune indicazioni sulla probabile continuità dei singoli strati e sulla struttura della circolazione idrica sotterranea più superficiale.

Dal p.c. al letto impermeabile si distinguono:

- da 0 a massimo 2 m - terreno vegetale e materiali di riporto;
- da 2 a massimo 5 m da p.c.

Per quasi la totalità del sito - Limi sabbiosi grigio-giallastri e/o bruni, con frequenti inclusi carbonatici e passanti localmente a limi argillosi. Si tratta di uno strato piuttosto continuo distribuito estesamente per tutto il sito della centrale; esso tende a rastremarsi, fino a scomparire, solo nell'estremo settore Nord-Occidentale (in corrispondenza del dosso morfologico); la scarsa permeabilità di questo orizzonte fa sì che la prima falda (presente negli strati sottostanti) sia parzialmente protetta e leggermente in pressione. Nei sondaggi eseguiti si è osservata una risalienza delle acque di falda fino a quote di circa 2-2,5 m da p.c.

Estremo settore Nord-Occidentale - Sabbie e calcareniti organogene giallastre; costituiscono la struttura del dosso morfologico e poggiano direttamente sul letto impermeabile argilloso; hanno spessori massimi di 3 m; in generale la falda è assente in corrispondenza di questi depositi, è però possibile osservare la presenza di locali falde sospese, generatesi più che altro dal ristagnare di acque meteoriche in corrispondenza del letto impermeabile sub-superficiale.

da 5 a 7 m fino a un massimo di 18 m da p.c.

Porzione occidentale e centrale del sito - Ghiaie e ciottoli in matrice limo-sabbiosa grigio giallastra; si tratta di un orizzonte grossolano a maggior potenza nei pressi del Torrente Cantera, che tende a rastremarsi verso est, dove si alterna a depositi più fini (sabbie gialle limose e limi sabbiosi in strati da decimetrici a metrici). L'orizzonte ghiaioso costituisce l'acquifero sede della falda semiconfinata più superficiale, monofalda, nel settore occidentale del sito di centrale, tendente a divenire multifalda nel settore orientale, in corrispondenza della presenza delle alternanze sabbioso-limose.

settore Nord-Orientale - in questa porzione di territorio la stratigrafia delle alluvioni superficiali è più complessa: infatti, le alternanze tra ghiaie e sabbie limose e limi si infittiscono determinando particolari situazioni locali di falde sospese in contatto idrologico con la falda presente nelle ghiaie. Tali alternanze si spingono anche oltre i 7 m e le ghiaie si trovano anche a profondità variabili tra i 12 e i 18 m (tetto delle argille grigio-azzurre).

La successione verticale degli strati, il loro andamento e i loro relativi spessori, sono illustrati nella ricostruzione delle sezioni idrogeologiche riportata nelle Tavole XII.

Infine, la ricostruzione stratigrafica dei livelli più profondi, al di sotto delle argille grigio azzurre, è frutto dell'analisi di dati bibliografici:

- da 5/18 m- a massimo 130 m - argilla grigia con sabbia, con orizzonti ricchi di conchiglie; in particolare nella fascia costiera gli spessori di questo orizzonte raggiungono valori massimi di oltre

100 m. Queste argille sono da classificare come *argille normali*, sono deformabili e sature d'acqua con resistenza alle sollecitazioni esterne notevole (*preconsolidate o precomprese*).

- da 130 a massimo 190 m – sabbia con argilla grigia; questo orizzonte ha una potenza massima nel settore sud ma in generale la sua potenza è rilevante e piuttosto costante per tutta l'area in esame.
- da 130-190 m a massimo 200 m – arenaria compatta alternata ad arenaria e ghiaia, con ciottoli di calcare e di basalto. Il substrato roccioso si trova ad una profondità minore nel settore settentrionale (i primi livelli di arenaria si incontrano già a 160 m dal piano campagna) e, si approfondisce spostandosi verso Sud e Sud-Est).
- da 200 a massimo 220 m – sabbia rossa con conchiglie e calcare fratturato; nel settore meridionale e orientale, questo orizzonte è costante e di potenza superiore ai 20 m (profondità massima 222 m da p.c.), mentre, nel settore settentrionale ed occidentale, questo orizzonte, o manca del tutto, oppure è intercalato ad orizzonti scistose e basaltici;
- oltre i 220 m – arenaria con ciottoli alternata a basalto fratturato.

Una ricostruzione stratigrafica, estratta dal documento di cui al punto d), è riportata nella Tavola XIII.

4.2 Idrogeologia del sito

Il modello idrogeologico del sito si inquadra nell'ambito del sistema di circolazione idrica sotterranea a scala regionale; infatti, ad ampia scala, si distinguono nei primi 100/150 m da p.c.:

- una o più falde freatiche sospese, stagionali e di scarso interesse, nelle alluvioni attuali e terrazzate più superficiali;
- un acquifero vero e proprio, semiconfinato e/o freatico nelle calcareniti medio-pleistoceniche; al letto di questo orizzonte si trovano le argille grigio-azzurre praticamente impermeabili;
- una falda in pressione al di sotto delle argille azzurre presente nelle calcareniti pleistoceniche inferiori.

Le indagini eseguite sul sito hanno interessato almeno due di questi acquiferi:

1. le falde sospese che si rilevano soprattutto nell'ambito delle frequenti alternanze sabbioso-limoso-ghiaiose settore nord-orientale del sito; si tratta per lo più di falde a carattere estremamente locale e stagionale, generalmente in contatto idraulico tra loro, infatti, i setti impermeabili sono rappresentati dai livelli più limosi che, spesso, hanno forma lenticolare con scarsa estensione orizzontale. Il vero e proprio letto impermeabile di queste falde è rappresentato dallo strato continuo di limi sabbiosi grigio-giallastri e/o bruni, presenti praticamente in tutto il sito di centrale, a esclusione del settore nord-occidentale dove, in corrispondenza del dosso morfologico, le calcareniti poggiano direttamente sulle argille grigio-azzurre;
2. il secondo acquifero è rappresentato dalle ghiaie del Cantera e dalle calcareniti medio-pleistoceniche (ben rappresentate nella porzione centrale del sito); si tratta di un acquifero potenzialmente molto produttivo, semiconfinato, compreso tra i limi al tetto e le argille grigio-azzurre al letto. Questo acquifero gode di un buon livello di protezione idraulica, garantito dalla costante presenza dei limi sabbiosi, tuttavia questi ultimi non sono omogenei e totalmente impermeabili, per cui determinano un forte rallentamento dell'infiltrazione dei potenziali inquinanti dagli strati più superficiali, ma non garantiscono un completo isolamento dell'acquifero, soprattutto in quei settori dove la componente sabbiosa tende a prevalere su quella limosa. L'andamento prevalente di questo acquifero, nell'ambito della centrale, è NO-SE (Tavola XIV) ed è influenzato dalla presenza del Torrente Cantera, il cui subalveo, tende a drenare le acque della falda semiconfinata; nei pressi della costa l'andamento tende maggiormente ad una direzione O-E.

La falda artesianica sottostante, protetta dall'imponente pacco delle argille grigio-azzurre, non è stata mai raggiunta dai sondaggi eseguiti; essa risulta ben isolata idraulicamente dalle falde più superficiali.

4.3 Caratterizzazione fisica della falda semiconfinata

Le prove di permeabilità di tipo Lefranc sono state concentrate nell'area dove si era riscontrata presenza di contaminante organico. Le profondità di prova sono state selezionate principalmente in modo da caratterizzare la falda semiconfinata.

sondaggio	Profondità di prova m da p.c.	permeabilità <i>K</i> medio m/s	descrizione stratigrafica del livello
SS1	2.0 - 2.5	n.d.	limi sabbiosi
SS1	4.0 - 4.5	n.d.	calcareniti organogene
SS2	2.5 - 3.0	n.d.	limi sabbiosi
SS2	4.5 - 5.0	$7.9 \cdot 10^{-6}$	ghiaia e ciottoli in matrice limoso-sabbiosa
SR20	4.5 - 5.0	$1.8 \cdot 10^{-4}$	ghiaia e ciottoli in matrice limoso-sabbiosa
SR22	4.0 - 4.5	$7.9 \cdot 10^{-6}$	ghiaia e ciottoli in matrice limoso-sabbiosa
B1	6.0 - 6.5	$7.1 \cdot 10^{-6}$	ghiaia e ciottoli in matrice limoso-sabbiosa
B2 \approx SS5	6.0 - 6.5	$5.9 \cdot 10^{-6}$	ghiaia e ciottoli in matrice limoso-sabbiosa
B3	8.0 - 9.0	$1.7 \cdot 10^{-5}$	ghiaia e ciottoli in matrice limoso-sabbiosa

Tabella 16: risultati delle prove Lefranc

I relativi rapporti di prova sono riportati nell'Allegato 1

E' stata anche condotta una prova in corrispondenza delle calcareniti (sondaggio SS1) al fine di stimarne la fratturazione. Tuttavia il valore di permeabilità che si è ricavato è molto basso e non attendibile per questo litotipo, in genere caratterizzato da elevate permeabilità secondarie; presumibilmente questo risultato è imputabile all'occlusione dei pori e/o delle fratture da parte dell'abbondante materiale fine presente.

Sono state condotte anche prove di abbassamento in corrispondenza dell'orizzonte limoso (sondaggi SS1 e SS2). Premesso che i terreni a grana fine mal si prestano a questo tipo di prove e che, a causa della bassa conducibilità idraulica, sono tuttavia possibili alcune considerazioni. Dagli abbassamenti registrati, gli strati limosi hanno confermato una bassissima permeabilità; si ritiene plausibile che la conducibilità idraulica per le lenti limose sia almeno di 10^{-8} m/s.

4.5 Definizione della superficie piezometrica

Per la definizione della superficie della falda freatica, sono state eseguite misure di soggiacenza della falda, con precisione di almeno 1 cm, presso i piezometri installati.

Il livello statico dell'acqua all'interno di tutti i piezometri è stato misurato per mezzo di un freatimetro, nell'arco della stessa giornata del 19 giugno 2003. In una data successiva sono stati misurati solo quei piezometri la cui realizzazione, al momento della prima misura, non era ancora stata completata. Stante il periodo di stabilità meteorologica e l'assenza di fenomeni piovosi degni di nota nell'intervallo intercorso, si ritiene che non possano essere intervenute variazioni significative dei livelli di falda e che, pertanto, le misure ottenute in tempi successivi possano essere inserite in un'unica elaborazione.

Queste operazioni, compiute il giorno 19 giugno 2003, sono state supervisionate dal personale tecnico ARPA Sicilia - DAP Siracusa, come risulta dallo specifico verbale di sopralluogo.

Le misure di soggiacenza della falda ottenute sono riportate nella Tabella seguente, assieme alla indicazione della falda cui fanno riferimento.

piezometro	data della misura	quota di bocca pozzo (m.s.l.m.)	soggiacenza (m da b.p.)	elevazione tavola d'acqua (m.s.l.m.)	falda
S1	19/06/2003	6.57	-3.69	2.88	semiconfinata
S2	19/06/2003	5.82	-3.06	2.76	semiconfinata
S3	19/06/2003	4.20	-2.29	1.91	semiconfinata
S7	19/06/2003	2.93	-1.28	1.65	semiconfinata
S8	19/06/2003	3.75	-2.26	1.49	semiconfinata
S10	19/06/2003	3.70	-2.51	1.19	semiconfinata
R11	19/06/2003	3.21	-2.12	1.09	superficiale
R12	19/06/2003	3.07	-1.84	1.23	semiconfinata
R15	19/06/2003	2.77	-1.32	1.45	superficiale
R17	19/06/2003	3.18	-1.67	1.51	superficiale
R19	19/06/2003	14.11	-3.32	10.79	semiconfinata
R20	19/06/2003	7.27	-3.59	3.68	semiconfinata
B1	19/06/2003	3.79 ⁶	-1.55	2.24	semiconfinata
B2	19/06/2003	3.48 ⁵	-1.84	1.64	semiconfinata
B3	19/06/2003	2.91 ⁵	-1.55	1.36	semiconfinata
PZA	19/06/2003	5.69	-2.97	2.72	semiconfinata
PZB	19/06/2003	6.65	-3.77	2.88	semiconfinata
PZC	19/06/2003	6.24	-3.67	2.57	semiconfinata
PZD	19/06/2003	4.99	-3.40	1.59	semiconfinata
PZE	19/06/2003	5.53	-2.61	2.92	semiconfinata
R21	26/06/2003	6.25	-3.49	2.76	semiconfinata
R22	26/06/2003	5.52	-2.90	2.62	semiconfinata
R28	26/06/2003	6.45	-3.76	2.69	semiconfinata

Tabella 18: misure di soggiacenza della falda

⁶ le quote di bocca pozzo indicate per le misure del giorno 19/05/2003 sono state successivamente modificate; le quote attuali e definitive sono quelle riportate nella tabella 13.

Sulla base delle misure effettuate, è stata eseguita una ricostruzione del livello statico della falda semiconfinata (prima falda); per tale ricostruzione è stato impiegato un programma di calcolo geostatistico basato sul metodo di Kriging.

La Tavola XIV illustra il risultato dell'interpolazione dell'andamento del livello statico della falda semiconfinata.

4.6 Presenza di surnatante

In ognuno dei piezometri è stata rilevata, mediante apposita sonda di interfaccia, l'eventuale presenza di fase organica surnatante al di sopra del livello dell'acqua; qualora presente, né è stato determinato lo spessore. Queste operazioni, compiute il giorno 19 giugno 2003, sono state supervisionate dal personale tecnico ARPA Sicilia - DAP Siracusa, come risulta dallo specifico verbale di sopralluogo.

Successivamente, a seguito del completamento dei piezometri R21, R22 e R28, anche in essi è stata eseguita la verifica della presenza di eventuale surnatante.

piezometro	data della misura	strato surnatante
S1	19/06/2003	tracce
S2	19/06/2003	assente
S3	19/06/2003	assente
S7	19/06/2003	assente
S8	19/06/2003	assente
S10	19/06/2003	assente
R11	19/06/2003	assente
R12	19/06/2003	assente
R15	19/06/2003	assente
R17	19/06/2003	assente
R19	19/06/2003	tracce
R20	19/06/2003	tracce
B1	19/06/2003	assente
B2	19/06/2003	assente
B3	19/06/2003	assente
PZA	19/06/2003	6 cm
PZB	19/06/2003	tracce
PZC	19/06/2003	assente
PZD	19/06/2003	assente
PZE	19/06/2003	assente
R21	26/06/2003	tracce
R22	26/06/2003	tracce
R28	26/06/2003	tracce

Tabella 19: rilievo della presenza di fase organica all'interno dei piezometri

Una fase organica libera in forma di surnatante è presente in un unico piezometro (PZA); altri 7 piezometri hanno presentato tracce di fase organica, non sufficiente a formare uno strato di surnatante apprezzabile.

Nella planimetria riportata nella Tavola XV sono evidenziati i piezometri che sono risultati contaminati dalla presenza di prodotto organico.

Allo scopo di valutare la capacità di recupero del prodotto, è stato condotta un bail-down test presso il piezometro PZA. La prova è consistita nella rimozione manuale del surnatante presente, impiegando un bailer, quindi nella misura del suo spessore e della profondità durante la sua ricarica, in funzione del tempo. La prova è stata condotta il giorno 20/05/2003 ed è stata protratta per un tempo complessivo superiore alle 200 ore (corrispondenti a 9 giorni), durante i quali lo strato di surnatante non ha mostrato che una minima ricarica, pari a non più di un cm di spessore. In data 19/06/2003, a distanza di un mese dal bail-down, si è riscontrato che lo spessore i surnatante era ripristinato al livello originale.

I livelli misurati sono riportati nella tabella seguente; l'andamento della prova è illustrato nella Figura 4.

tempo ore:min	soggiacenza prodotto cm da bocca pozzo	soggiacenza acqua cm da bocca pozzo	spessore prodotto cm
0	-302	-308	6
00:15	-303	-305	2
00:45	-303	-305	2
01:00	-303	-305	2
02:00	-302	-304	2
03:00	-302	-304	2
09:00	-302	-304	2
51	-306	-307	2
60	-306	-308	2
72	-307	-309	2
147	-310	-313	3
220	-314	-317	3

Tabella 20: misure di ricarica del prodotto presso il piezometro PZA

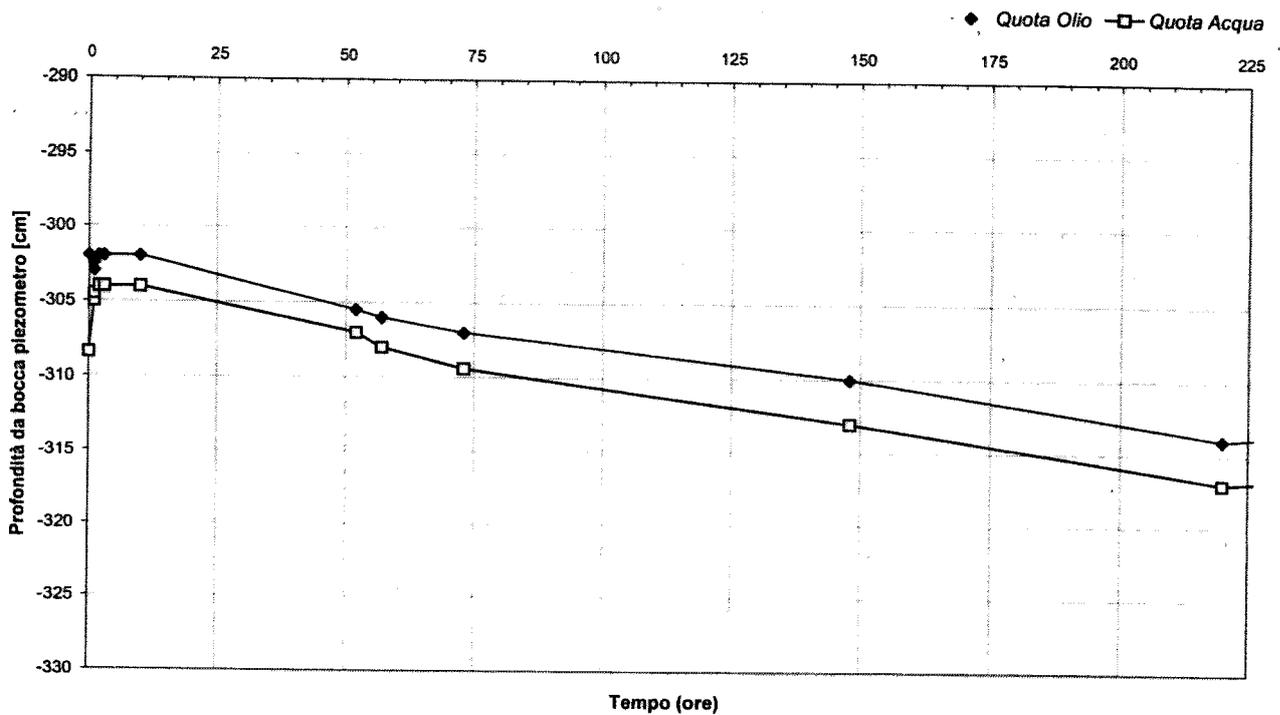


Figura 4: andamento del bail-down test presso il piezometro PZA

La velocità di ricarica è risultata trascurabile, tale da non permettere di calcolare una capacità di recupero.

4.7 Caratterizzazione del surnatante

Il prodotto organico surnatante nel piezometro PZA è stato prelevato con un campionamento apposito il giorno 15/05/2003. Il prodotto è stato caratterizzato mediante gascromatografia con rivelatore a ionizzazione di fiamma (FID).

Una aliquota del campione di 1 g è stata diluita in 10 mL di diclorometano, essiccata su sodio solfato. 0,5 mL di tale soluzione è stata purificata su microcolonna di gel di silice, per eliminare morchie ed altri composti non volatili, diluita a 5 mL con diclorometano ed iniettata in un gascromatografo dotato di rivelatore FID.

Il gascromatogramma ottenuto è riportato nella Figura 5, a confronto con l'analogo cromatogramma ottenuto da una soluzione contenente le n-paraffine lineari comprese tra C8 e C40.

Dalla comparazione dei due cromatogrammi, si può dedurre che

- la fase oleosa ha un taglio complessivo compreso tra gli idrocarburi C8 e C31-C32;
- è possibile individuare un taglio leggero con idrocarburi compresi tra C8 e C14-15 e uno più pesante con idrocarburi compresi tra C14-15 e C31-32 (si veda la figura 2 dove è mostrato un dettaglio della figura 1).

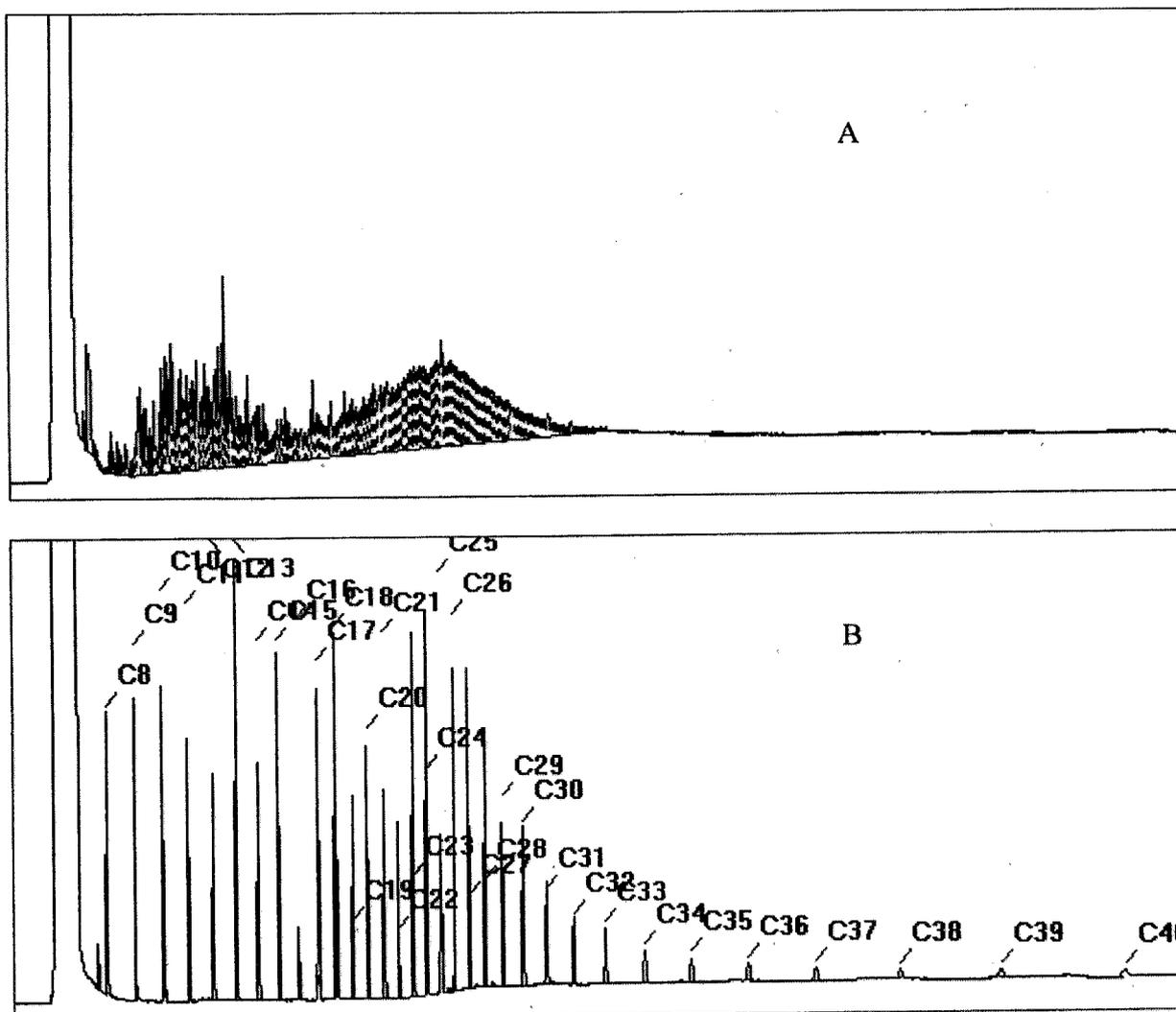


Figura 5: caratterizzazione mediante separazione GC/FID

A: fase organica surnatante;

B: una soluzione standard delle n-paraffine comprese tra C8 e C40.

4.8 Risultati delle indagini e confronto con i limiti normativi

4.8.1 Terreni

I risultati delle determinazioni analitiche quantitative sui campioni di terreno, espressi come sostanza secca sulla frazione inferiore a 2 mm, sono riportati nel Rapporto di Prova dell'Allegato 2, per i composti inorganici, e nel Rapporto di Prova dell'Allegato 4, per i composti organici e dell'Allegato 9 per la Diossine, a confronto con i valori di concentrazione limite accettabili specificati dal DM n° 471 del 25 ottobre 1999. Essendo l'area in oggetto un insediamento industriale attualmente attivo, i valori limiti di riferimento nel caso in esame sono quelli relativi alla destinazione d'uso industriale o commerciale.

Per una più facile lettura dei dati contenuti nell'Allegato 9, costituito dai Rapporti di Prova in originale del laboratorio Ecocenter, al quale i campioni sono stati inviati dopo la registrazione nel sistema di qualità CESI, che implica l'assegnazione di un codice numerico di identificazione, si precisa che le sigle campioni ivi riportate vanno intese come segue:

- il riferimento 3344 identifica il campione D1;
- il riferimento 3345 identifica il campione D2;
- il riferimento 3346 identifica il campione D3;

Si sono misurati superamenti delle Concentrazioni Limite Accettabili per i parametri:

Idrocarburi C<12

Idrocarburi C>12

Diossine

I superamenti dei limiti relativi agli idrocarburi sono stati riscontrati negli strati che costituiscono il tetto della falda acquifera, all'interfaccia tra saturo e non saturo.

Per ciascuno dei parametri sopra elencati, qui di seguito vengono messi in evidenza quei campioni che hanno manifestato superamenti delle Concentrazioni Limite Accettabili.

IDROCARBURI C<12			
<i>CLA DM 471/99</i>		<i>mg/kg</i>	<i>250</i>
sondaggio	<i>profondità m da p.c.</i>		<i>concentrazione misurata mg/kg</i>
	<i>da</i>	<i>a</i>	
SS1	3.6	4.0	2338
SS2	3.7	4.0	925
SR19	2.7	3.0	268
SR21	3.0	3.2	10200
SR21	5.4	5.6	366
SR22	3.0	3.4	8200
SR27	2.5	2.8	6400
SR28	3.6	3.9	41300

Tabella 21: campioni di terreno che hanno superato la CLA per il parametro Idrocarburi C<12

Nella Tavola XVI viene illustrata la distribuzione dei punti di sondaggio che hanno evidenziato superamento dei limiti per gli Idrocarburi C<12, assieme alla ricostruzione delle linee di isoconcentrazione del contaminante nello strato contaminato, ottenuta per interpolazione tramite l'algoritmo di Kiriging.

IDROCARBURI C>12			
<i>CLA DM 471/99</i>		<i>mg/kg</i>	<i>750</i>
sondaggio	<i>profondità m da p.c.</i>		<i>concentrazione misurata</i>
	<i>da</i>	<i>a</i>	<i>mg/kg</i>
SS1	3.6	4.0	6799
SS2	3.7	4.0	2315
SR19	2.7	3.0	1234
SR20	3.4	3.8	2625
SR21	3.0	3.2	4125
SR22	3.0	3.4	4149
SR27	2.5	2.8	2815
SR28	3.6	3.9	3424

Tabella 22: campioni di terreno che hanno superato la CLA per il parametro Idrocarburi C>12

Nella Tavola XVII viene illustrata la distribuzione dei punti di sondaggio che hanno evidenziato superamento dei limiti per gli Idrocarburi C>12, assieme alla ricostruzione delle linee di isoconcentrazione del contaminante nello strato contaminato, ottenuta per interpolazione tramite l'algoritmo di Kiriging.

La distribuzione per classi di peso molecolare degli idrocarburi, nei punti di sondaggio che hanno evidenziato superamento dei limiti, è illustrata nella Tavola XVIII.

DIOSSINE			
<i>CLA DM 471/99</i>		<i>mg/kg</i>	<i>1·10⁻⁴ I-TE</i>
sondaggio	<i>profondità m da p.c.</i>		<i>concentrazione misurata</i>
	<i>da</i>	<i>a</i>	<i>mg/kg I-TE</i>
D3	0.0	0.1	1.94·10 ⁻⁴

Tabella 23: campioni di terreno che hanno superato la CLA per il parametro Diossine

L'ubicazione del punto di sondaggio che ha evidenziato superamento dei limiti per le Diossine è riportata nella Tavola X.

4.8.2 Acque della falde superficiale e semi-confinata

I risultati delle determinazioni analitiche quantitative sui campioni di acque della falda superficiale prelevate dai piezometri sono riportati nel Rapporto di Prova dell'Allegato 5, per i composti inorganici e nel Rapporto di Prova dell'Allegato 6, per i composti organici, posti a confronto con i limiti di riferimento previsti dal D.M. 471/99 per le acque sotterranee.

Si sono misurati superamenti delle concentrazioni limite accettabili per i parametri:

- Idrocarburi
- Aromatici Policiclici
- Alluminio
- Ferro
- Manganese

Per ciascuno dei parametri sopra elencati, qui di seguito vengono messi in evidenza quei campioni che hanno manifestato superamenti delle Concentrazioni Limite Accettabili (viene riportato il valore della concentrazione totale misurata degli idrocarburi, indipendentemente dalla suddivisione per classi di peso molecolare).

IDROCARBURI⁷	
CLA DM 471/99	10
	concentrazione misurata
piezometro	µg/L
PZA	875
PZC	728
PZD	461
PZE	571
pozzo romano	587
S1	12463
S2	3598
S3	69
S7	580
S8	77
S10	35
R11	47
R12	35
R15	440
R17	356
R19	2623
R20	1990

Tabella 24: campioni di acque che hanno superato la CLA per il parametro Idrocarburi

⁷ Quale limite di riferimento per gli idrocarburi nelle acque, viene assunto il valore di 10 µg/L, sulla base del parere espresso da Istituto Superiore di Sanità e come richiesto dalla Conferenza di Servizi del 20 gennaio 2003

Nella Tavola XIX viene illustrata la distribuzione dei piezometri nei quali si è evidenziato superamento dei limiti per gli Idrocarburi.

La distribuzione per classi di peso molecolare degli idrocarburi, nei piezometri che hanno evidenziato superamento dei limiti, è illustrata nella Tavola XX, assieme alla ricostruzione delle linee di isoconcentrazione del contaminante nell'acquifero, ottenuta per interpolazione tramite l'algoritmo di Kiriging.

AROMATICI POLICICLICI					
	Benzo(a) antracene	Benzo(a) pirene	Benzo(k) fluorantene	Benzo(g,h,i) perilene	Sommatoria policiclici 31,32,33,36
CLA DM 471/99 $\mu\text{g/L}$	0.1	0.01	0.05	0.01	0.1
piezometro	concentrazioni misurate $\mu\text{g/L}$				
PZA	<CLA	0.022	<CLA	<CLA	<CLA
PZC	<CLA	0.021	<CLA	<CLA	<CLA
PZD	<CLA	0.014	<CLA	<CLA	<CLA
PZE	<CLA	0.015	<CLA	<CLA	<CLA
S1	<CLA	0.036	<CLA	0.040	0.103
S2	<CLA	0.038	<CLA	0.026	<CLA
R20	0.208	<CLA	0.056	0.034	0.184

Tabella 25: campioni di acque che hanno superato la CLA per il parametro Idrocarburi

Nella Tavola XXI viene illustrata la distribuzione dei piezometri nei quali si è evidenziato superamento dei limiti per il Benzo(a)pirene (in quanto il composto che, tra i Policiclici, che ha mostrato il numero maggiore di superamenti della CLA), assieme alla ricostruzione delle linee di isoconcentrazione del Pirene (assunto come il più rappresentativo, in quanto ha fornito il maggior numero di risultati superiori al limite di rilevabilità strumentale) nell'acquifero, ottenuta per interpolazione tramite l'algoritmo di Kiriging.

Valori di Aromatici Policiclici superiori alla CL prevista dal DM 471/99 sono stati riscontrati nei piezometri localizzati nell'area interessata dalla contaminazione di idrocarburi nel terreno, in particolare nei due piezometri (S1 ed S2), che hanno manifestato le più elevate concentrazioni di idrocarburi nell'acqua di falda.

ALLUMINIO	
CLA DM 471/99	μg/L 200
	concentrazione misurata
piezometro	μg/L
S1	390
S2	410
S3	280
S7	940
S8	210
S10	1240
R11	410
R12	360
R15	220

Tabella 26: campioni di acque che hanno superato la CLA per il parametro Alluminio

Nella Tavola XXII viene illustrata la distribuzione dei piezometri nei quali si è evidenziato superamento dei limiti per l'Alluminio, assieme alla ricostruzione delle linee di isoconcentrazione del contaminante nell'acquifero, ottenuta per interpolazione tramite l'algoritmo di Kiriging.

FERRO	
CLA DM 471/99	μg/L 200
	concentrazione misurata
piezometro	μg/L
S1	17900
S2	2410
S3	720
S7	1210
S8	320
S10	850
R11	360
R12	340
R15	230
R17	7410
R19	1240

Tabella 27: campioni di acque che hanno superato la CLA per il parametro Ferro

Nella Tavola XXIII viene illustrata la distribuzione dei piezometri nei quali si è evidenziato superamento dei limiti per il Ferro, assieme alla ricostruzione delle linee di isoconcentrazione del contaminante nell'acquifero, ottenuta per interpolazione tramite l'algoritmo di Kiriging.

MANGANESE	
CLA DM 471/99	50
	concentrazione misurata
piezometro	µg/L
PZA	130
PZC	461
PZD	340
PZE	258
S1	1381
S2	785
S3	797
S7	109
S8	220
S10	716
R11	693
R12	600
R15	112
R17	435
R19	296
R20	62

Tabella 28: campioni di acque che hanno superato la CLA per il parametro Manganese

Nella Tavola XXIV viene illustrata la distribuzione dei piezometri nei quali si è evidenziato superamento dei limiti per il Manganese, assieme alla ricostruzione delle linee di isoconcentrazione del contaminante nell'acquifero, ottenuta per interpolazione tramite l'algoritmo di Kiriging.

I valori di concentrazione misurati per Manganese e Ferro risultano grossolanamente correlati (coefficiente di correlazione = 0.69); la loro relazione è evidenziata nel grafico della Figura seguente.

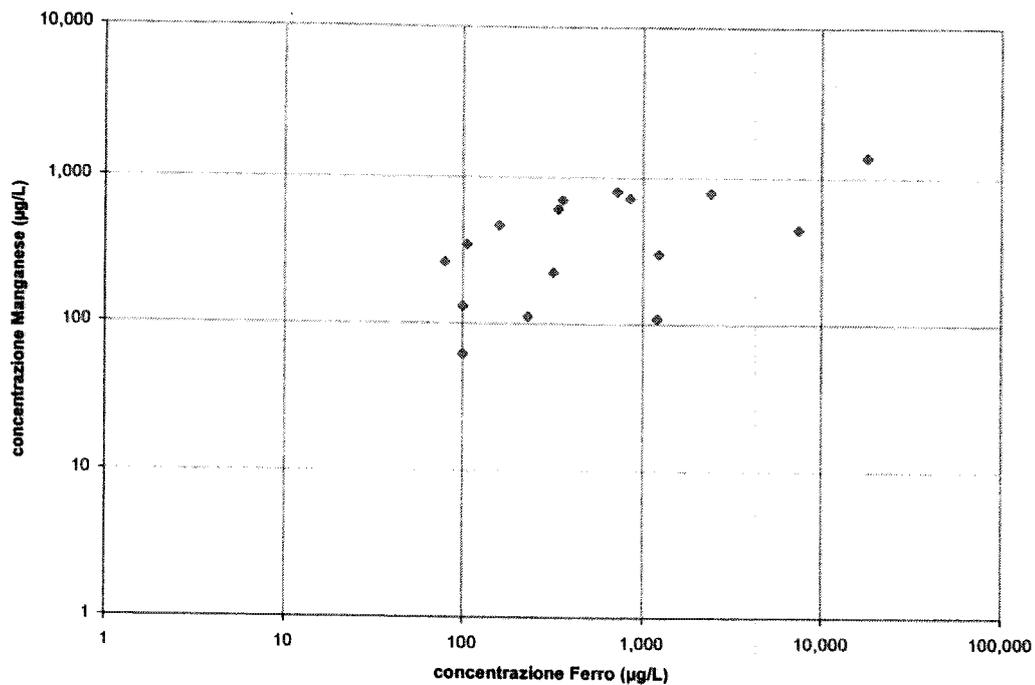


Figura 6: relazione tra le concentrazioni misurate di Manganese e Ferro nelle acque di falda

4.8.3 Acque della falda profonda

I risultati delle determinazioni analitiche quantitative sui campioni di acque della falda profonda, prelevate dai pozzi di emungimento della centrale, piezometri sono riportati nel Rapporto di Prova dell'Allegato 7, per i composti inorganici e nel Rapporto di Prova dell'Allegato 8, per i composti organici, posti a confronto con i limiti di riferimento previsti dal D.M. 471/99 per le acque sotterranee.

Non si sono evidenziati superamenti delle concentrazioni limite accettabili.

5 FORMULAZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE DEL SITO

5.1 Sintesi dello stato qualitativo dell'area

Per quanto riguarda lo stato qualitativo del sottosuolo, le indagini condotte hanno permesso di appurare quanto segue:

- il terreno in corrispondenza della parte ovest dell'area di proprietà ENEL Produzione è sede di una contaminazione da sostanze organiche di origine petrolifera;
- la contaminazione del terreno interessa una superficie di circa 25.000 m² ;
- lo strato contaminato presenta uno spessore compreso tra 30 e 40 cm ed localizzato a profondità variabile tra i 2.7 e i 4.0 metri da piano campagna; il volume totale di terreno contaminato è stato quindi stimato in 8.000 - 15.000 m³;
- i contaminanti sono prevalentemente presenti nella forma di prodotto organico intrappolato nelle porosità del terreno; la quantità di prodotto liquido in grado di fluire liberamente è molto esigua, come confermato dalla quasi totale assenza di prodotto surnatante nei piezometri dell'area contaminata e dai risultati del bail-down test condotto sul piezometro PZA;
- la contaminazione interessa la zona superiore della prima falda acquifera, che si presenta confinata superiormente da strati limosi di spessore variabile tra 1 e 3 metri; questo acquifero risulta essere leggermente in pressione;
- lo spessore di questo acquifero aumenta da monte verso valle (nel senso del gradiente idraulico, che corrisponde al gradiente morfologico del piano di campagna), passando da 0.6 metri nel punto SR19 a oltre 5 metri nel punto S4.
- il letto dell'acquifero è costituito da strati di argille grigio/azzurre situati ad una profondità variabile tra 2.7 metri presso il punto SR19 a oltre 10 metri presso il punto SR28; tali strati presentano una potenza notevole e proteggono efficacemente l'acquifero profondo;
- trattandosi di un acquifero confinato superiormente, non si identifica una vera e propria zona di oscillazione della falda superficiale; quindi lo strato contaminato risulta molto ben localizzato in senso verticale.
- la contaminazione interessa sia il terreno anche le acque di falda, che mobilizzano la frazione solubile dei composti organici presenti nel terreno;
- la acque di falda si presentano contaminate per un'area più vasta rispetto alla presenza di contaminazione nel terreno, interessando anche la parte a valle nel senso del gradiente idraulico;
- nella acque di falda si riscontra anche la presenza, in concentrazioni superiori ai limiti normativi, di Policiclici Aromatici, Ferro, Manganese e Alluminio.

I valori superiori ai limiti previsti per gli Aromatici Policiclici, sono localizzati nell'area interessata alla contaminazione da idrocarburi nel terreno e sono stati riscontrati in particolare presso i piezometri dove più elevati sono risultate le concentrazioni di idrocarburi nelle acque di falda.

Alte concentrazioni di Ferro e Manganese, combinate con valori molto bassi di Ossigeno Disciolto (elemento elettrone-accettore) vengono di solito interpretate come la conseguenza di un'intensa attività batterica in corso, la quale agisce degradando la materia organica presente in corrispondenza dei piezometri.

La natura dei contaminanti (prodotti petroliferi medio-leggeri) e, soprattutto, l'ubicazione dell'area contaminata (in zona che mai è stata occupata da impianti produttivi e che è situata a monte e ad una quota più elevata rispetto ai depositi di carburante della centrale ENEL), oltre alle informazioni già note dal passato, tutte indicano che l'origine della contaminazione derivi dalla diffusione di un pennacchio di contaminanti originato all'esterno dell'area di proprietà ENEL-Produzione e non sia collegata alle attività svolte in centrale.

Oltre a ciò, uno dei punti di sondaggio superficiali (a profondità limitata ai primi 10 cm), ha evidenziato il superamento dei limiti previsti per il parametro Diossine. Tale superamento è essenzialmente causato dalla presenza di Otta-Cloro DibenzoDiossina (OCDD) in concentrazioni dell'ordine di 0.1 mg/kg.

5.2 Caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero contaminato

L'acquifero contaminato risiede nelle ghiaie del Torrente Cantera e nelle calcareniti; si tratta di un acquifero semiconfinato, compreso tra i limi al tetto e le argille grigio-azzurre al letto.

Lo spessore dell'acquifero, così come la sua profondità dal piano di campagna, aumenta da ovest a est (dall'entroterra verso il mare) e da nord verso sud seguendo la conformazione morfologica della valle fluviale del Torrente Cantera, come illustrato nella interpolazione, ottenuta con l'algoritmo di Kriging, riportata nella Tavola XXV e nella rappresentazione tridimensionale della Tavola XXVI.

Anche i livelli dei limi che costituiscono il tetto dell'acquifero si vanno approfondendo ed aumentano di spessore nella medesima direzione, a partire dall'estremo settore nord-occidentale (in corrispondenza del dosso morfologico), dove questi livelli tendono a rastremarsi fino a scomparire, fino ai 4.5 m da p.c. al margine sud dell'area contaminata, per poi giungere fino ai 6.5 m da p.c. nel settore centrale e orientale del sito. La profondità del tetto dell'acquifero ricalca quindi la morfologia di superficie, pur se con un gradiente più accentuato, come illustrato nell'interpolazione della Tavola XXVII e nella relativa rappresentazione tridimensionale della Tavola XXVIII. La scarsa permeabilità di questo orizzonte fa sì che la falda presente negli strati sottostanti, sia parzialmente protetta e leggermente in pressione.,

Il letto impermeabile dell'acquifero si approfondisce anch'esso da ovest a est, tendendo ad emergere in corrispondenza del dosso morfologico ubicato a nord-ovest del sito, dove presenta profondità anche inferiori a 2 metri da p.c., e subendo un approfondimento verso sud ed est, ad opera dell'attività di erosione e deposito del Torrente Cantera, fino a profondità maggiori di 15 metri. (Tavole XXIX e XXX).

L'andamento prevalente del gradiente idraulico è NO-SE (Tavola XIV) ed è influenzato dalla presenza del Torrente Cantera, il cui subalveo, tende a drenare le acque; nei pressi della costa l'andamento tende maggiormente ad una direzione O-E.

La falda artesianica sottostante, protetta dall'imponente pacco delle argille grigio-azzurre risulta ben isolata idraulicamente dalle falde più superficiali.

5.3 Caratteristiche e comportamento chimico-fisico dei prodotti contaminanti

5.3.1 Composti di origine petrolifera

Gli idrocarburi derivati dal petrolio sono miscele complesse di centinaia di composti chimici, che si presentano in forma liquida.

I componenti dei prodotti petroliferi vengono classificati come idrocarburi (composti organici costituiti da solo idrogeno e carbonio) e non-idrocarburi (composti contenenti altri elementi, come ossigeno, zolfo, azoto). Gli idrocarburi costituiscono parte preponderante dei prodotti petroliferi; la frazione non-idrocarburea è formata da composti strutturalmente simili agli idrocarburi. La maggior parte delle altre impurezze presenti nel greggio originale viene eliminata durante i processi di raffinazione.

La classificazione dei diversi prodotti petroliferi viene fatta sulla base del punto di ebollizione e del numero di atomi di carbonio presenti nelle molecole degli idrocarburi. All'aumentare del numero di atomi di carbonio, diminuisce la volatilità ed aumenta il punto di ebollizione del liquido.

Andando in ordine dai più "leggeri" ai più "pesanti", si distinguono i seguenti prodotti:

Benzine: costituite da idrocarburi compresi per lo più nel campo tra C₄ e C₁₂ e da additivi che vi vengono miscelati allo scopo di migliorare le prestazioni come carburanti.

Gli idrocarburi sono principalmente alifatici e aromatici; la frazione aromatica, che può ammontare fino al 40%, contiene benzene (C₆H₆), toluene (C₇H₈), etilbenzene (C₈H₁₀) e xileni (C₈H₁₀), cumulativamente indicati come BTEX. Possono essere presenti anche piccole quantità di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA). I più leggeri tra gli idrocarburi sono molto volatili ed evaporano rapidamente, per cui la loro quantità è molto ridotta negli sversamenti di vecchia data.

Gli additivi, utilizzati per aumentare il numero di ottano, consistono in composti ossigenati, come alcoli e eteri, in particolare il metil-terbutil-etero (MTBE), che è stato usato a partire dagli anni '80; in precedenza, come additivo veniva comunemente impiegato il tetraetil-piombo o altri composti simili.

Cherosene: miscela di idrocarburi da C11 a C13, che distillano nel campo da 150° a 250° C. Gli idrocarburi aromatici costituiscono dal 10 al 20% del cherosene.

Gasolio diesel: miscela di idrocarburi da C10 a C20, con punto di ebollizione tra 160° e 400° C. Una frazione compresa tra il 25% e il 35% è costituita da composti aromatici, principalmente benzeni alchilati e naftaleni; le concentrazioni di BTEX sono generalmente basse. A causa del loro elevato peso molecolare, i costituenti di questi prodotti sono meno volatili, meno solubili in acqua e meno mobili dei composti contenuti in benzine e cherosene.

Olio combustibile: costituito da idrocarburi nel campo da C19 a C25, con punto di ebollizione compreso tra 315° e 540° C; contiene dal 15% al 40% di aromatici, soprattutto fenantreni alchilati e naftaleni e una frazione tra il 15% e il 30% di composti polari contenenti azoto, zolfo, ossigeno. E' un liquido molto più viscoso dell'acqua.

Oli lubrificanti: costituiti principalmente da idrocarburi da C20 a C45, che bollono tra 425° e 540° C. Sono arricchiti delle frazioni molecolari più complesse presenti nel greggio di origine, come le cicloparaffine e gli idrocarburi aromatici polinucleari (PNA) e sono abbondanti le molecole contenenti azoto, zolfo e ossigeno. I composti aromatici costituiscono dal 10% al 30% del totale. Questi oli sono relativamente viscosi ed insolubili in acqua e poco mobili nel sottosuolo.

I prodotti idrocarburici identificati nei campioni di terreno prelevati presso la centrale ENEL di Augusta, rientrano nel campo di strutture molecolari comprese tra C8 e C31-C32; è possibile individuare un taglio leggero con idrocarburi compresi tra C8 e C14-15 e uno più pesante con idrocarburi compresi tra C14-15 e C31-32.

A causa della complessità della composizione e dei numerosi fattori e fenomeni chimici, fisici e biologici che controllano e influenzano la migrazione e la degradazione dei composti organici, non è possibile stabilire a priori delle regole fisse riguardanti il loro comportamento nel sottosuolo.

I composti organici migrano nel sottosuolo con velocità diverse tra loro, perciò in presenza di una miscela di idrocarburi, si può creare un pennacchio di inquinamento frazionato. Tali differenze di migrazione sono funzione sia delle caratteristiche fisiche e geometriche della matrice solida del terreno, sia delle proprietà chimico-fisiche dei prodotti.

Molteplici sono i fenomeni che influenzano la migrazione e il destino dei composti organici nel sottosuolo, i più importanti dei quali sono: adsorbimento, volatilizzazione, diluizione, attività biologica.

I composti organici, una volta dispersi nel sottosuolo, si possono suddividere in tre fasi separate:

- fase volatile (gassosa),
- fase solubile in acqua,
- fase non solubile (liquida);

Ognuna delle tre fasi ha un comportamento diverso nel terreno e quindi la loro migrazione segue leggi differenti.

Alcuni composti organici tendono a volatilizzare velocemente all'interno della zona non satura. L'intensità dell'evaporazione e la dispersione dei gas sono direttamente proporzionali alla permeabilità del terreno. Una parte dei gas viene assorbita e diluita dall'acqua di infiltrazione e perciò viene trascinata nella falda; una frazione può invece migrare verso la superficie e venire dispersa in atmosfera oppure infiltrare in edifici e locali chiusi attraverso le fondamenta. Nelle contaminazioni di vecchia data, i composti che costituiscono la fase volatile risultano fortemente diminuiti, se non addirittura assenti, a causa della evaporazione verso l'atmosfera.

I composti organici leggeri e non solubili in acqua (come ad esempio molti idrocarburi) tendono a galleggiare sull'acqua di falda in corrispondenza della superficie freatica in forma di lenti più o meno estese ed si espandono orizzontalmente al di sopra di essa. L'espansione della zona inquinata avviene principalmente lungo la direzione di flusso della falda; la forma e la disposizione della zona inquinata

dipendono anche dal gradiente idraulico e dalla conducibilità idraulica della falda; essa si estende maggiormente, assottigliandosi, lungo la direzione del flusso mentre si espande solo leggermente in direzione ortogonale ad esso. L'estensione è maggiore dove la conducibilità idraulica è più elevata, perciò in zone molto eterogenee può assumere forme molto irregolari.

Il comportamento e il destino degli idrocarburi nel sottosuolo è determinato dalle loro caratteristiche fisiche; Per composti con struttura chimica simile (ad esempio gli alifatici a catena non ramificata), queste ultime sono in gran parte dettate dal numero di atomi di carbonio nella molecola. In generale, al crescere del numero di atomi di carbonio, si osservano:

- punti di ebollizione più elevati,
- tensioni di vapore inferiori (volatilità),
- densità più alte,
- minore solubilità in acqua,
- maggiore tendenza ad essere adsorbiti dalle particelle di terreno e minore mobilità.

In generale, gli idrocarburi alifatici con più di dieci atomi di carbonio si possono considerare poco mobili nel sottosuolo, a motivo della loro bassa solubilità in acqua, bassa tensione di vapore e forte tendenza all'adsorbimento.

Gli idrocarburi aromatici sono più mobili e più solubili rispetto agli idrocarburi alifatici con uguale numero di atomi di carbonio.

I composti ossigenati hanno in genere una solubilità in acqua molto maggiore rispetto agli idrocarburi di pari peso molecolare e quindi è probabile che siano più mobili degli altri costituenti dei combustibili derivati dal petrolio.

5.3.2 *Diossine*

Il termine Diossine viene usato in senso generale per definire un gruppo di centinaia di composti chimici che sono tossici e persistenti nell'ambiente; si tratta di composti eteroaromatici polialogenati, che appartengono alle due famiglie chimiche identificate come Poli-Cloro-DibenzoDiossine (PCDD) e PoliCloroDibenzoFurani (PCDF). Il composto più tossico di questo gruppo è la 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-diossina or TCDD; l'Organizzazione Mondiale della Sanità, nel 197, ha classificato la TCDD come cancerogeno di Classe 1, ovvero "known human carcinogen".

Per analogia con le proprietà chimiche, fisiche e tossicologiche della TCDD, altre 16 Diossine vengono considerate rilevanti in relazione al rischio tossicologico e ambientale. La tossicità delle altre diossine viene misurata in confronto con quella della TCDD. I livelli analitici delle diverse Diossine possono essere espressi in equivalenti di tossicità di TCDD (unità TE o TEQ), tramite l'impiego di fattori di conversione; in Italia è in uso il sistema I-TEF. Dopo la conversione in valori I-TEF, tutti i 17 valori per le Diossine rilevanti possono essere sommati in un unico dato TE.

Le Diossine non vengono prodotte intenzionalmente; sono piuttosto il sottoprodotto non desiderato di processi industriali che utilizzano il cloro o la combustione di composti contenenti cloro. Le Diossine vengono quindi prodotte nel corso di svariati processi industriali, tra i quali:

- i processi industriali di combustione nei quali sia presente una fonte di cloro (in particolare, l'incenerimento di rifiuti)
- la sintesi di prodotti chimici (Pentaclorofenolo, Bezeni Clorurati, PCB, ecc.),
- la produzione di pesticidi o erbicidi clorurati,
- la manifattura della carta (i processi di sbianca della cellulosa utilizzano cloro, il quale si combina con composti organici di origine naturale),

La formazione di PCDD / PCDF richiede la presenza di una sorgente di cloro.

Nella combustione di metano, carbone, e degli oli combustibili densi utilizzati normalmente per la generazione termoelettrica, dove le concentrazioni di cloro presenti sono in genere molto basse, si può ragionevolmente presumere che queste sostanze non si formino in misura significativa.

La principale fonte di Diossine nell'ambiente è costituita dall'incenerimento dei rifiuti domestici e sanitari; fonti secondarie sono la produzione di cemento e la combustione industriale del legno.

Le Diossine emesse in atmosfera da questi ed altri processi possono diffondersi per grandi distanze e ricadere anche in zone remote.

La principale sorgente di esposizione alle Diossine per la popolazione umana (oltre il 96%, secondo la Environment Protection Agency) avviene attraverso la dieta, con l'assunzione di cibi animali. Le Diossine che ricadono sul suolo, le acque e la vegetazione non si degradano nelle normali condizioni ambientali e, nel tempo, si accumulano negli animali al pascolo. Poiché le Diossine sono liposolubili, si accumulano lungo la catena alimentare, fino a livelli per cui la concentrazione nei tessuti o nel latte degli animali può essere anche 100.000 volte più elevata delle concentrazioni ambientali.

La popolazione umana ingerisce le Diossine accumulate nella carne degli animali, nelle uova e nei prodotti caseari; parte dell'esposizione può derivare anche dal consumo di pesce contaminato. L'esposizione alle Diossine della popolazione in generale è un problema legato alle emissioni cumulative da parte di molteplici sorgenti.

Le Diossine provocano gravi effetti sulla salute. La TCDD è un potente cancerogeno; oltre agli effetti cancerogeni, le Diossine causano svariati effetti negativi che si manifestano sul sistema endocrino, immunitario e riproduttivo, nonché sullo sviluppo di animali e uomini. Gli effetti sul sistema immunitario appaiono essere tra i più importanti finora studiati. Le Diossine possono anche alterare i meccanismi ormonali.

La TCDD presenta gravi effetti:

- cancerogeni,
- immunotossici,
- teratogeni,
- sregolatori endocrini.

Dal punto di vista del comportamento chimico-fisico, le Diossine sono:

- essenzialmente idrofobiche,
- sostanzialmente insolubili in acqua;
- altamente lipofile,
- molto stabili sia chimicamente che fisicamente,
- estremamente persistenti nell'ambiente e nei sistemi biologici.

Le Diossine presenti nel suolo, nei sedimenti e nella colonna d'acqua, sono principalmente associate al particolato organico, a causa del loro carattere lipofilo e della bassa solubilità in acqua. In queste condizioni, il loro potenziale di venire liscivate o volatilizzate è minimo. Tutte le informazioni disponibili indicano che PCDD e PCDF, in particolare quei composti ad alto grado di clorurazione, sono estremamente stabili in tutte le condizioni ambientali, la cui persistenza si misura in decenni. L'unico processo di trasformazione di un qualche significato risulta essere la fotodegradazione di composti non legati a particelle solide oppure all'interfaccia suolo-atmosfera o acqua-atmosfera.

Una volta immesse nell'ambiente, le Diossine tendono a legarsi in maniera stabile al materiale particellato: suolo e sedimenti di laghi, estuari, mare, a seconda della matrice ambientale. L'adsorbimento è più forte per i congeneri maggiormente clorurati.

In generale, le Diossine nei terreni non sono lisciviable e sono anche indisponibili all'assunzione da parte della vegetazione. Anche la loro volatilità non è significativa. Quindi si possono considerare sostanzialmente non mobili nei terreni.

Il principale destino ambientale delle Diossine assorbite al suolo è di rimanere in posto alla superficie del suolo indisturbato, oppure di venire trasportate ai corpi idrici in seguito all'erosione del suolo. Le Diossine che raggiungono gli ambienti acquatici subiscono sedimentazione e seppellimento nella colonna di sedimenti; si suppone che il destino finale delle Diossine immesse nell'ambiente siano i sedimenti acquatici.

5.4 Percorsi di migrazione e vie di esposizione dei possibili bersagli

5.4.1 Composti di origine petrolifera

Il Modello Concettuale del Sito, per quanto riguarda:

- le sorgenti della contaminazione,
- i meccanismi di trasporto,
- i percorsi di possibile esposizione dei recettori,
- i potenziali recettori,

è sintetizzato nel diagramma di flusso seguente.

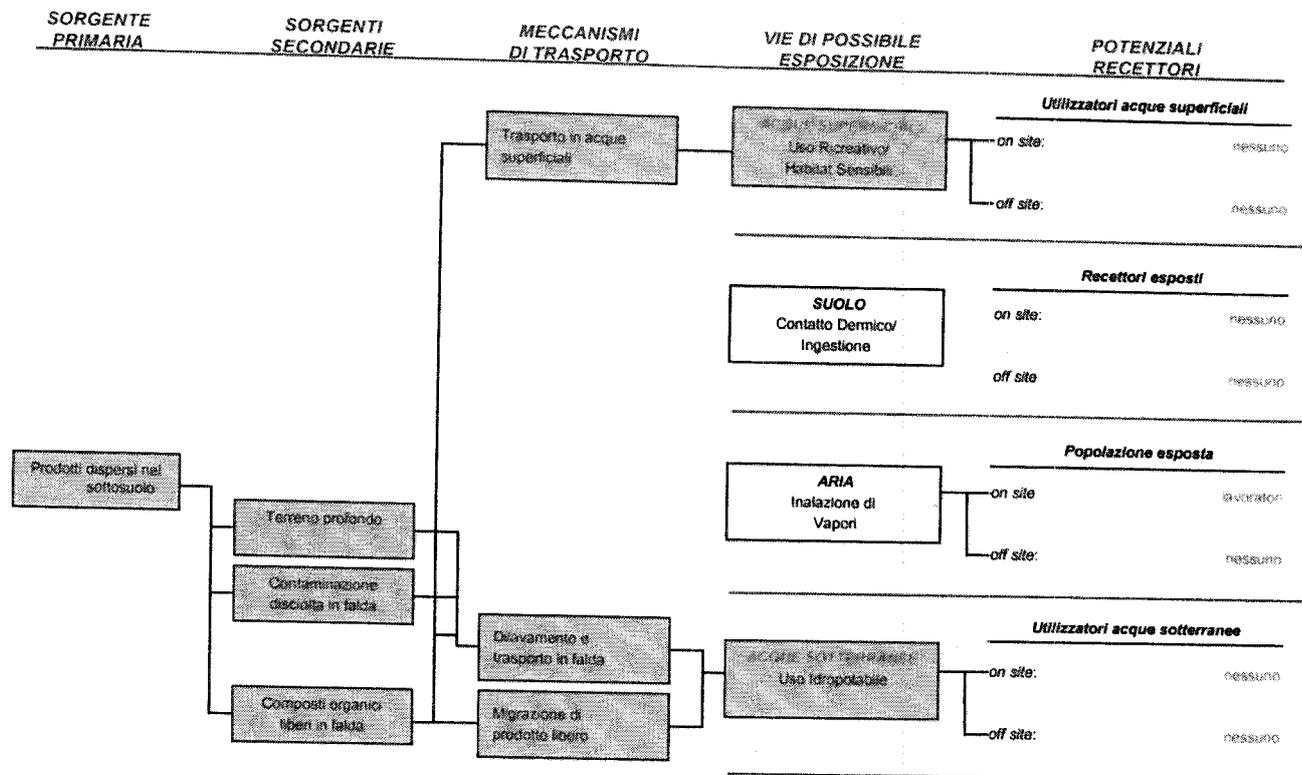


Figura 7: diagramma di flusso delle vie di esposizione dei possibili bersagli

Nel diagramma, la sorgente della contaminazione è indicata come “Prodotti dispersi nel sottosuolo”; che può comportare la presenza di contaminanti nel terreno, sotto forma di prodotto organico libero e nell’acqua della falda superficiale, sotto forma di fase disciolta nell’acqua.

Il terreno esposto alla superficie non viene considerato come una fonte secondaria possibile, in quanto la contaminazione è originata nelle proprietà adiacenti al sito ENEL ed è migrata fino alle pertinenze ENEL sotto forma di contaminazione del sottosuolo. Per tale motivo, non sono state considerate attive le vie di migrazione costituite dal ruscellamento superficiale delle acque meteoriche e dalla erosione eolica.

Poiché i risultati delle indagini hanno dimostrato che i composti organici che la contaminazione hanno peso molecolare superiore a C 9 e la presenza degli Aromatici (BTEX) è ai livelli della minima sensibilità strumentale, si è escluso che la volatilizzazione dei composti bassobollenti sia un elemento significativo. Perciò non sono stati considerati attivi i meccanismi di trasporto legati alla volatilizzazione, sia in atmosfera che verso gli eventuali luoghi chiusi, per infiltrazione attraverso le fondamenta degli edifici

Poiché il sito è delimitato sul lato sud dal fiume Cantera e sorge a breve distanza dal mare, sussiste la possibilità che i contaminanti eventualmente presenti possano essere trasportati, dalle acque di falda o per dilavamento dei terreni, a contatto con le acque superficiali, fluviali e marine.

I meccanismi di trasporto che rimangono attivi, quindi, si possono così riassumere

- migrazione di prodotto libero nel terreno;
- solubilizzazione dei contaminanti e il loro trasporto nella falda;
- la migrazione dei contaminanti verso le acque superficiali, sia come prodotto libero sia attraverso le acque sotterranee contaminate.

Per quanto riguarda le possibili vie di esposizione degli eventuali recettori, poiché l'area ha una destinazione d'uso esclusivamente industriale ed è sempre soggetta a guardiania (quindi non sussistono usi residenziali, ricreativi o agricoli del suolo), si esclude qualunque rischio di esposizione attraverso il contatto dermico e l'ingestione accidentale di terreno.

Da questa analisi, risulta che le potenziali vie di esposizione, originanti dalle diverse matrici ambientali, sono state individuate nelle seguenti:

- Acque superficiali - l'eventuale uso ricreativo delle acque superficiali e l'impatto sugli eventuali habitat sensibili;
- Acque sotterranee - l'eventuale uso idropotabile della risorsa idrica.

Per i motivi sopra esposti, si esclude qualunque rischio di esposizione attraverso il contatto dermico e l'ingestione accidentale di terreno o inalazione di polveri aerodisperse generate per erosione eolica e risollevarimento di particelle di terreno.

Allo scopo di identificare i potenziali recettori, è necessario prendere in considerazione i gruppi o le fasce di popolazione esposta a ciascuna delle vie di esposizione sopra individuate e gli utilizzatori finali delle risorse naturali. Per ogni via di esposizione, inoltre, si può distinguere tra recettori esposti on-site, cioè direttamente sul sito (ad esempio, i lavoratori del sito industriale) e quelli esposti off-site, cioè a distanza dal sito in esame (ad esempio gli abitanti di un centro residenziale prossimo al sito). Nel processo di selezione dei recettori esposti, sono state considerate le vie di esposizione effettive, cioè quelle attualmente esistenti e non quelle solo ipoteticamente possibili.

Acque Superficiali

1. Torrente Cantera

Il Torrente Cantera, nel tratto interessato, è completamente canalizzato e il suo letto è impermeabilizzato; il suo deflusso è nullo durante le stagioni secche e, quando presente, è costituito da acque di drenaggio e di ruscellamento superficiale. Quindi, per tale corpo idrico, non si ritiene che si possano ipotizzare né usi ricreativi, né possibili impatti ecologici a danno di habitat sensibili.

2. Acque marine costiere

Per quanto riguarda il tratto di costa marina, anche in questo caso date le caratteristiche del sito e del corpo idrico interessato (il porto industriale di Augusta), non si ritiene che si possano ipotizzare usi ricreativi delle acque superficiali; peraltro, il tratto antistante il sito della centrale risulta efficacemente recintato e non raggiungibile da parte del pubblico. Inoltre, non si ritiene che le acque del porto industriale possano venire considerate come un habitat sensibile.

Acque sotterranee

Nell'area del sito sono presenti solo i pozzi di approvvigionamento dell'acqua industriale ad uso della centrale; essi emungono dalla falda profonda, che risulta efficacemente protetta da potenti banchi di argille, come anche dimostrato dai risultati delle caratterizzazioni chimiche dell'acqua. Nelle adiacenze del sito, non risulta che sia presente alcun pozzo per uso idropotabile, tantomeno nella ristretta fascia posta a valle del sito, a margine della linea costiera. In considerazione di ciò e anche del fatto che la falda interessata è quella più superficiale, che non viene sfruttata per nessuna destinazione d'uso, non si identificano recettori esposti al rischio derivante dall'utilizzo delle acque sotterranee.

In conseguenza dell'analisi sopra riportata, alla luce delle conoscenze attuali, non si individua alcun possibile recettore.

5.4.2 Ulteriori considerazioni circa le possibili vie di migrazione dei contaminanti

Va tenuto presente che le possibili vie di trasporto e migrazione dei contaminanti nel sottosuolo, oltre che essere determinate dalle caratteristiche stratigrafiche del suolo stesso, possono essere influenzate da opere artificiali, le quali possono avere comportato il disturbo dei terreni.

Tipici, a questo proposito, sono gli interventi di scavo e posa in opera di manufatti interrati. Infatti, questi lavori (ad esempio la posa di tubazioni interrate) vengono in genere eseguiti mediante lo scavo di trincee, all'interno delle quali viene poi collocato il manufatto e che, al termine dei lavori, vengono colmate con materiale sciolto di riempimento. Questi materiali di riempimento, rimaneggiati e non compattati, presentano una permeabilità idraulica più elevata rispetto al terreno circostante non disturbato. Pertanto, il tracciato degli scavi costituisce una via di minore resistenza, che consente la migrazione preferenziale dei contaminanti eventualmente immessi nel sottosuolo.

In tutti questi casi è necessario, quindi, tenere presente che la migrazione dei contaminanti può avvenire anche per vie e in direzioni diverse da quelle che si potrebbero dedurre sulla sola base di considerazione idrogeologiche.

5.4.3 Diossine

Il Modello Concettuale del Sito, per quanto riguarda:

- le sorgenti della contaminazione,
- i meccanismi di trasporto,
- i percorsi di possibile esposizione dei recettori,
- i potenziali recettori,

è sintetizzato nel diagramma di flusso seguente.

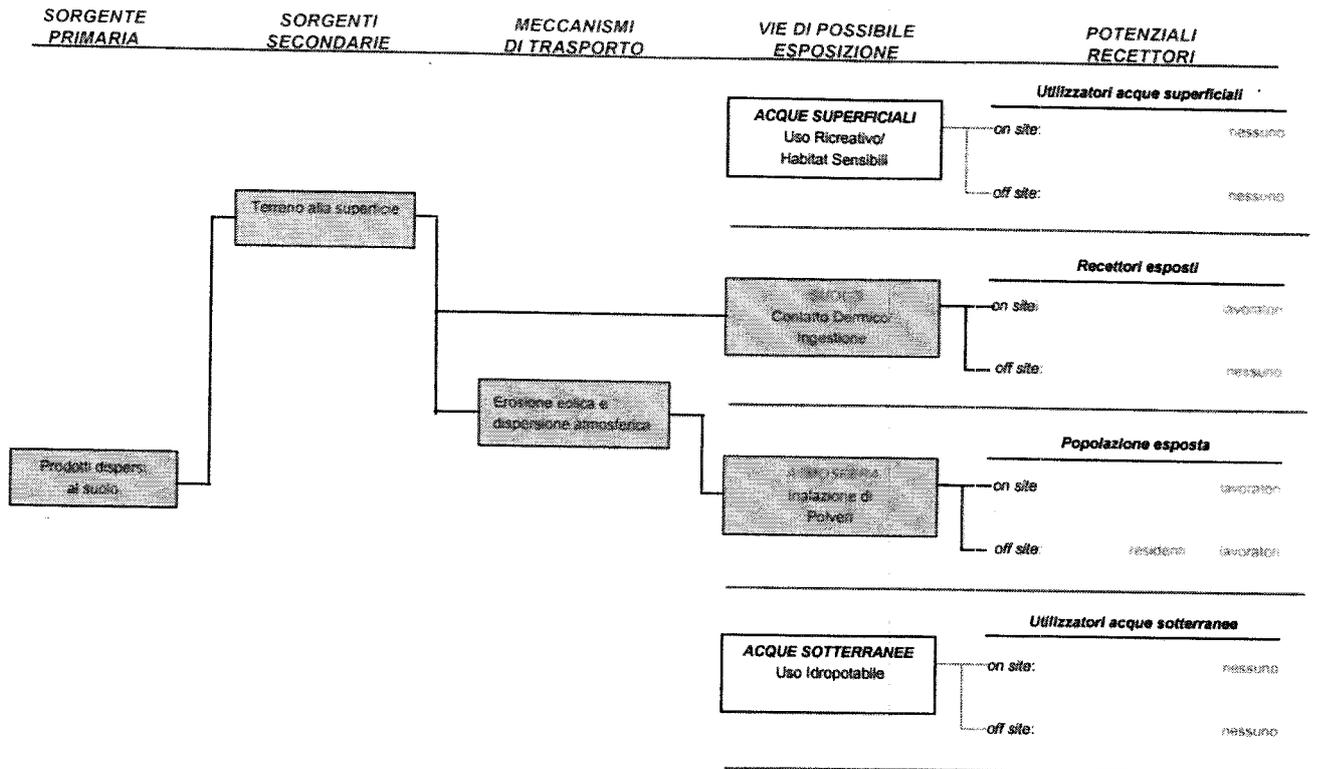


Figura 8: diagramma di flusso delle vie di esposizione dei possibili bersagli

Nel diagramma, la sorgente della contaminazione è indicata come “Prodotti dispersi al suolo”; che può comportare la presenza di contaminanti nel terreno alla superficie.

Date le caratteristiche di immobilità e insolubilità delle Diossine, non si ritengono significative, come sorgenti secondarie di contaminazione, il terreno profondo, né l’acqua della falda superficiale, né la migrazione di prodotto organico libero.

La possibile sorgente secondaria di contaminazione è individuabile nel terreno alla superficie.

Le caratteristiche chimico-fisiche delle Diossine, in particolare la sostanziale insolubilità in acqua e la tendenza ad adsorbire fortemente sui materiali particellati, fanno sì che essi siano estremamente poco mobili nella matrice ambientale costituita dal terreno. Pertanto anche la migrazione del contaminante verso le acque di falda viene ritenuta estremamente improbabile come conseguenza di uno spandimento/ricaduta al suolo. Per la stessa ragione, anche il trasporto verso le acque superficiali del Torrente Cantera non viene ritenuto un meccanismo di trasporto plausibile.

Presso il sito, le acque meteoriche sono completamente coltate e condotte all’Impianto di Trattamento Acque Reflue, dove subiscono anche trattamento di sedimentazione; perciò viene ritenuto non significativo il trasporto verso le acque superficiali, causato da erosione e ruscellamento del terreno superficiale.

Data la bassa volatilità delle Diossine, non sono stati considerati attivi i meccanismi di trasporto legati alla volatilizzazione.

L’unico meccanismo di trasporto significativo che rimane attivo, quindi, consiste nell’erosione eolica e nella dispersione in atmosfera delle particelle di suolo contaminato.

Poiché l'area ha una destinazione d'uso esclusivamente industriale ed è sempre soggetta a guardiania, non sussistono usi residenziali, ricreativi o agricoli del suolo, e si esclude qualunque rischio di esposizione derivante da questo tipo di usi del suolo.

E' possibile l'esposizione attraverso il contatto dermico e l'ingestione accidentale di terreno da parte dei lavoratori on-site. Il trasporto eolico a distanza potrebbe essere responsabile di esposizione a carico anche della popolazione off-site.

Di conseguenza, le possibili vie di esposizione nei confronti degli eventuali recettori esposti consistono in:

- l'esposizione diretta al terreno contaminato, attraverso il contatto dermico e l'ingestione accidentale;
- l'inalazione di polveri aerodispese, risollevate dal terreno contaminato.

ELENCO DELLE TAVOLE FUORI TESTO

- TAVOLA I:** corografia (scala 1:15.000)
- TAVOLA II:** planimetria generale dell'impianto (scala 1:2.000)
- TAVOLA III:** planimetria storica dell'impianto (scala 1:1.000)
- TAVOLA IV:** carta geologica della Sicilia Sud Orientale (scala 1:100.000). (Fonte: Università di Catania, Istituto di Scienza della Terra, 1987)
- TAVOLA V:** carta della vulnerabilità delle falde idriche - settore Nord-Orientale Ibleo, Sicilia Sud Est (scala 1:50.000). (Fonte: Università di Catania, Istituto di Scienza della Terra e CNR, 1989)
- TAVOLA VI:** carta idrogeologica (scala 1:10.000). (Fonte: Caratteristiche idrogeologiche e chimico-fisiche delle acque della falda emunta dai pozzi della centrale ENEL di Augusta - Contrada Bufalara, Dott. Geol. Ursino, 1987)
- TAVOLA VII:** sezioni geolitologiche (scala 1:10.000). (Fonte: Caratteristiche idrogeologiche e chimico-fisiche delle acque della falda emunta dai pozzi della centrale ENEL di Augusta - Contrada Bufalara, Dott. Geol. Ursino, 1987)
- TAVOLA VIII:** log stratigrafici dei pozzi ENEL. (Fonte: Caratteristiche idrogeologiche e chimico-fisiche delle acque della falda emunta dai pozzi della centrale ENEL di Augusta - Contrada Bufalara, Dott. Geol. Ursino, 1987)
- TAVOLA IX:** ubicazione dei pozzi della centrale (scala: 1:2000)
- TAVOLA X:** ubicazione dei punti di sondaggio
- TAVOLA XI:** ubicazione dei piezometri preesistenti e del "pozzo romano" (scala: 1:2000)
- TAVOLA XII:** ricostruzione delle sezioni idrogeologiche del sito
- TAVOLA XIII:** assetto geoidrologico del sottosuolo. (Fonte: Caratteristiche idrogeologiche e chimico-fisiche delle acque della falda emunta dai pozzi della centrale ENEL di Augusta - Contrada Bufalara, Dott. Geol. Ursino, 1987)
- TAVOLA XIV:** livello statico della falda semiconfinata, misura del giorno 19/05/2003 (scala 1:2000)
- TAVOLA XV:** presenza di surmatante nei piezometri (scala 1:2000)
- TAVOLA XVI:** punti di sondaggio che hanno evidenziato superamento dei limiti per gli Idrocarburi $C < 12$ all'interfaccia tra saturo e non saturo e ricostruzione delle linee di isoconcentrazione del contaminante nello strato contaminato (scala: 1:2000)
- TAVOLA XVII:** punti di sondaggio che hanno evidenziato superamento dei limiti per gli Idrocarburi $C > 12$ all'interfaccia tra saturo e non saturo e ricostruzione delle linee di isoconcentrazione del contaminante nello strato contaminato (scala: 1:2000)
- TAVOLA XVIII:** distribuzione per classi di peso molecolare degli Idrocarburi misurati nei punti di sondaggio che hanno evidenziato superamento dei limiti all'interfaccia tra saturo e non saturo (scala: 1:2000)
- TAVOLA XIX:** piezometri nei quali si è evidenziato superamento dei limiti per gli Idrocarburi e ricostruzione delle linee di isoconcentrazione del contaminante nell'acquifero (scala: 1:2000)
- TAVOLA XX:** distribuzione per classi di peso molecolare degli Idrocarburi misurati nei piezometri nei quali si è evidenziato superamento dei limiti e ricostruzione delle linee di isoconcentrazione del contaminante nell'acquifero (scala: 1:2000)
- TAVOLA XXI:** piezometri nei quali si è evidenziato superamento dei limiti per Benzo(a)pirene e ricostruzione delle linee di isoconcentrazione del Pirene (scala: 1:2000)

- TAVOLA XXII:** piezometri nei quali si è evidenziato superamento dei limiti per l'Alluminio e ricostruzione delle linee di isoconcentrazione del contaminante nell'acquifero (scala: 1:2000)
- TAVOLA XXIII:** piezometri nei quali si è evidenziato superamento dei limiti per il Ferro e ricostruzione delle linee di isoconcentrazione del contaminante nell'acquifero (scala: 1:2000)
- TAVOLA XXIV:** piezometri nei quali si è evidenziato superamento dei limiti per il Manganese e ricostruzione delle linee di isoconcentrazione del contaminante nell'acquifero (scala: 1:2000)
- TAVOLA XXV:** falda semiconfinata - spessore dell'acquifero (scala: 1:2000)
- TAVOLA XXVI:** falda semiconfinata - rappresentazione tridimensionale dello spessore dell'acquifero
- TAVOLA XXVII:** falda semiconfinata - profondità del tetto dell'acquifero (scala: 1:2000)
- TAVOLA XXVIII:** falda semiconfinata - rappresentazione tridimensionale del tetto dell'acquifero
- TAVOLA XXIX:** falda semiconfinata - profondità del letto dell'acquifero (scala: 1:2000)
- TAVOLA XXX:** falda semiconfinata - rappresentazione tridimensionale del letto dell'acquifero.