

EDISON S.p.A.
Via per Statte s.n.
74100 Taranto

Relazione della
Caratterizzazione e Modello
Concettuale dello stabilimento
Edison di Taranto

RELAZIONE

ENSR Italia S.r.l.
Via F. Ferruccio 17/A
20145 Milano - Italia
Febbraio 2005
Numero documento: R.3/11048008

EDISON S.p.A.
Via per Statte s.n.
74100 Taranto

Relazione della
Caratterizzazione e Modello
Concettuale dello stabilimento
Edison di Taranto

RELAZIONE

Elaborato da
Dott. Corrado Perozzo (Responsabile di Progetto)

Rivisto da
Ing. Alessandro Sestagalli (Coordinatore di Progetto)

Approvato da
Dott. Claudio Viola (Amministratore Delegato)

ENSR Italia S.r.l.
Via F. Ferruccio 17/A
20145 Milano - Italia
Febbraio 2005
Numero documento: R.3/11048008

INDICE

1.0 INTRODUZIONE	1-1
1.1 Premessa	1-1
1.2 Scopo	1-1
1.3 Struttura del documento	1-1
2.0 INQUADRAMENTO TERRITORIALE – BREVI CENNI	2-1
2.1 Il polo industriale di Taranto	2-1
2.2 Aree oggetto d'investigazione	2-5
2.2.1 Impianto CET2	2-6
2.2.2 Impianto CET3	2-6
3.0 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' DI INDAGINE	3-1
3.1 Introduzione	3-1
3.2 Attività di campo.....	3-2
3.2.1 Prelievo dei campioni "accessori"	3-2
3.2.2 Esecuzione dei sondaggi e prelievo dei campioni di terreno	3-2
3.2.3 Installazione dei piezometri.....	3-10
3.2.4 Prelievo delle acque di falda	3-12
3.2.5 Determinazione del coefficiente di permeabilità dell'acquifero superficiale	3-16
3.2.6 Misura periodica della soggiacenza della falda superficiale e profonda.....	3-16
3.2.7 Prelievo delle acque dal ciclo di raffreddamento delle centrali CET2 e CET3	3-17
3.3 Analisi chimico-fisiche di laboratorio: metodi e procedure analitiche	3-18
3.3.1 Terreni, top soil, fanghi.....	3-19
3.3.2 Campioni geotecnici.....	3-25
3.3.3 Acque di falda, acque di processo	3-25
3.4 Sistemi di controllo qualità.....	3-32
4.0 RISULTATI	4-1
4.1 Terreni, fanghi e top soil	4-1
4.2 Campioni geotecnici	4-4
4.3 Acque di falda	4-6
4.3.1 Falda superficiale	4-7
4.3.2 Falda profonda	4-13
4.4 Coefficiente di permeabilità	4-16
4.5 Misure piezometriche	4-19
4.6 Acque del ciclo di raffreddamento delle centrali CET2 e CET3	4-21
5.0 MODELLO CONCETTUALE PRELIMINARE	5-1
5.1 Caratterizzazione geologica e idrogeologica del sito.....	5-1

5.1.1	Inquadramento geomorfologico e idrografico	5-1
5.1.2	Quadro geologico e stratigrafico regionale	5-1
5.1.2.1	Stratigrafia locale.....	5-3
5.1.3	Idrogeologia.....	5-5
5.1.3.1	Inquadramento regionale	5-5
5.1.3.2	Idrogeologia locale	5-6
5.1.3.3	Vulnerabilità e idrochimica delle acque della falda superficiale e profonda	5-11
5.2	Stato di contaminazione delle matrici ambientali	5-17
5.2.1	Terreni insaturi.....	5-17
5.2.2	Acque di falda.....	5-18
5.3	Sorgenti e percorsi di potenziale migrazione dei contaminanti	5-19
5.3.1	Terreni insaturi.....	5-20
5.3.2	Acque di falda.....	5-20
5.3.2.1	Falda superficiale	5-20
5.3.2.2	Falda profonda	5-21
5.4	Potenziali recettori e vie di esposizione dei contaminanti.....	5-22
6.0	CONCLUSIONI.....	6-1
APPENDICE 1: ELABORAZIONI 3D (ENVIRONMENTAL VISUALIZATION SYSTEM)		
	Ricostruzione dell'andamento della falda superficiale nello spazio 3D	II
	Elaborazione dati.....	II
	Creazione del modello tridimensionale dell'andamento di falda superficiale	IV
APPENDICE 2: SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE (S.I.T.).....		
	Introduzione.....	X
	Metodologia applicata	X
	Dati archiviati nel database.....	XII
	Dati archiviati nelle tabelle	XIII
	Aggiornamento e gestione.....	XIV
	Visualizzazione SIT con ArcReader	XVI
ELENCO DELLE FIGURE		XVII
ELENCO DELLE TABELLE		XIX
TAVOLE.....		XX
ALLEGATI		XXVI

1.0 INTRODUZIONE

1.1 Premessa

ENSR Italia S.r.l. è stata incaricata da ISE S.p.A. di effettuare le indagini di caratterizzazione ambientale del sottosuolo della centrale termoelettrica di proprietà ISE S.p.A., ubicata a Taranto, presso il complesso industriale in via per Statte.

Il piano d'indagine, contenuto nel *Piano di Caratterizzazione - Relazione Tecnica Descrittiva*, redatto dal Dr. Ing. C. Fornaro e dal Dr. Geol. C. Altavilla per conto di ISE S.p.A., è stato approvato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio durante la Conferenza dei Servizi del 25/07/2002, svoltasi presso il Ministero dell'Ambiente a Roma.

Il piano d'indagine è stato inoltre integrato sulla base delle richieste emerse nel corso della riunione tecnica con le Pubbliche Amministrazioni locali (PP-AA - Provincia di Taranto e ARPA di Taranto), tenutasi in data 28/01/2004 presso gli uffici della centrale ISE (cfr. Documento ENSR R.1/11048008 "Indagini di Caratterizzazione Ambientale del sottosuolo del sito ISE di Taranto, Protocollo d'indagine, Febbraio 2004).

Le indagini, in accordo con le PP-AA locali, sono state eseguite nel periodo Febbraio – Maggio 2004. Le attività periodiche di monitoraggio dei livelli piezometrici e dello stato qualitativo delle acque di falda si sono invece protratte per un periodo di almeno 17 mesi.

1.2 Scopo

Il presente documento fornisce una sintesi dei risultati delle indagini di caratterizzazione a tutto il 21 ottobre 2004, eseguite al fine di definire un quadro organico-unitario delle criticità ambientali dell'area investigata. In funzione dei risultati della campagna di indagine condotta presso l'area in oggetto, viene sviluppato in maniera preliminare un modello concettuale del sito. Infine, a completamento del documento è stato sviluppato un Sistema Informativo Territoriale il quale, mediante data base appositamente creati, permette di consultare in maniera rapida e mirata dei risultati delle indagini.

1.3 Struttura del documento

Il presente documento, al fine di illustrare nella maniera più completa le attività svolte ed i risultati emersi, è strutturato nelle seguenti sette sezioni:

Sezione 1.0: fornisce informazioni introduttive alla relazione, riassume informazioni di base pertinenti al progetto e presenta l'obiettivo e lo scopo delle attività di indagine svolte.

Sezione 2.0: fornisce in modo sintetico un inquadramento territoriale del sito ISE di Taranto.

Sezione 3.0: riassume le attività di caratterizzazione svolte da ENSR; esso fornisce inoltre una breve descrizione delle procedure di controllo qualità utilizzate in campo.

Sezione 4.0: fornisce un quadro sinottico dei risultati delle indagini svolte.

Sezione 5.0: sviluppa il modello concettuale per il sito investigato.

Sezione 6.0: riassume e sintetizza quanto descritto nelle sezioni precedenti.

Appendice 1: riassume come sono state prodotte le elaborazioni 3D ed i dati di input inseriti nel modello.

Appendice 2: riassume come è stato sviluppato il Sistema informativo territoriale per il presente progetto.

2.0 INQUADRAMENTO TERRITORIALE – BREVI CENNI

2.1 Il polo industriale di Taranto

Lo stabilimento in oggetto, ha un'estensione di 105.000 m² ed è costituito da due centrali termoelettriche denominate CET 2 e CET 3 di proprietà della società ISE S.p.A. fino al 3 dicembre 2004, data in cui è avvenuta la fusione per incorporazione con Edison S.p.A.

A seguito della Deliberazione del Consiglio dei Ministri del 30/11/1990, il territorio della provincia di Taranto e' stato dichiarato "area ad elevato rischio di crisi ambientale". Tale dichiarazione e' stata recentemente rinnovata con la delibera del Consiglio dei Ministri, adottata nella riunione dell' 11 luglio 1997. Sulla base di questi documenti, il 23/04/1998 viene approvato il "Piano di disinquinamento per il risanamento del territorio della provincia di Taranto" con Decreto del Presidente della Repubblica, che fissa gli obbiettivi di qualità per le componenti suolo, acque e atmosfera, e stabilisce le strategie e gli obbiettivi degli interventi di risanamento ambientale. L'area della centrale ISE di Taranto risulta, inoltre, inserita nell'elenco dei siti interesse nazionale con Decreto del Ministero dell'Ambiente del 18/09/2001, n. 468.

Si riporta in Figura 2.1 l'immagine dell'area geografica a nord della città di Taranto, ottenuta mediante la sovrapposizione di una fotografia aerea e di un'immagine da atlante stradale, in scala 1:100.000.



Figura 2.1: Area geografica a nord della città di Taranto. L'immagine è ottenuta dalla sovrapposizione di una fotografia aerea e di un'immagine da atlante stradale. Scala 1:100.000

Le carte tecniche regionali, inserite in Tavola 1, riportano la corografia dell'area in oggetto e l'ubicazione del sito ISE di Taranto.

Sulla base delle informazioni riportate nel documento "Piano della Caratterizzazione, Relazione Tecnica Descrittiva, Vol I" (Marzo 2001), il sito risulta inserito, pur essendone indipendente, in un'area fortemente industrializzata a nord della città di Taranto, principalmente occupata dal più grande polo siderurgico italiano, l'ILVA LAMINATI PIANI (ex ILVA, ex ITALSIDER), dalla raffineria Agip, dalla cementeria Cementir e da un centinaio di industrie manifatturiere di dimensioni medie e piccole situate prevalentemente nel Comune di Taranto. Quest'area, adibita ad uso industriale da oltre trent'anni, si trova sulla fascia costiera del Golfo di Taranto, a circa 2,4 km nord ovest dalla costa del Mar Piccolo. La morfologia superficiale, sostanzialmente pianeggiante, risulta lievemente digradante in direzione sud. L'area della centrale ISE presenta quote topografiche comprese tra 18,4 (quota rilevata presso il sondaggio S01) e 16,4 m s.l.m. (quota rilevata presso il sondaggio S08) muovendosi da nord e in direzione sud.

I nuclei abitativi più prossimi sono rappresentati dai quartieri e dalle frazioni periferiche della città di Taranto: il "Rione Tamburi", a circa 2 km a sud (18.000 abitanti), e il "Quartiere Paolo VI", a circa 4,5 km a nord est (19.000 abitanti). Il paese di Statte (circa 15.000 abitanti) si trova invece a circa 5 km a nord dell'area industriale in oggetto. Questa si sviluppa a ovest della strada provinciale n. 49 Taranto-Crispiano-Ormini, dalla quale si accede al sito stesso.

Il mare intorno alla città di Taranto si suddivide in due parti: il Mar Grande ed il Mar Piccolo. Il primo copre una superficie di circa 35 km² con una profondità massima di 35 m ed una profondità media di 15 m. Esso è in comunicazione con il Mar Ionio attraverso due aperture, una a sud, di circa 1 chilometro di larghezza, ed una a nord ovest, larga un centinaio di metri, vicino a Punta Rondinella. Il Mar Piccolo occupa una superficie di circa 20 km² ed è suddivisa in due insenature, chiamate "primo" e "secondo seno". La profondità massima è di circa 15 m per il primo seno e di circa 10 m per il secondo seno. La profondità media dei due sottosistemi è di circa 5 m.

Il primo seno del Mar Piccolo è di forma triangolare, i cui vertici meridionali sono rappresentati dalle aperture, ad est verso il secondo seno ed a occidente verso il Mar Grande, attraverso canale di Porta Napoli. Il secondo seno ha una forma ellittica, con l'asse maggiore lungo circa 5 chilometri, in direzione Sud/Ovest-Nord/Est.

Il tratto di costa lungo la zona industriale che si affaccia sul Mar Grande, lungo circa 3 km, è caratterizzato dalla presenza di un importante porto mercantile, mentre si evidenzia la presenza di piccoli cantieri navali e di un importante arsenale militare sulle coste del Mar Piccolo, a sud dell'area industriale a nord di Taranto.

L'area costiera del Mar Grande a sud di Punta Rondinella è definita "zona non idonea alla balneazione per motivi indipendenti da inquinamento" (area del porto mercantile) o "zona da considerarsi non idonea perché non sufficientemente campionata o perché non controllata" dal Ministero della Sanità nel "Rapporto sulla qualità delle acque di balneazione, anno 2003".

Sulla base di quanto riportato nel documento "Dichiarazione Ambientale EMAS, ISE S.p.A., Centrale di Taranto" del 31/03/2003, l'utilizzo turistico o per balneazione delle acque del Mar Piccolo risulta inesistente. Nelle acque del Mar Piccolo e del Mar Grande si allevano mitili e alcune specie di pesci sfruttate ai fini commerciali.

Sulla base delle informazioni contenute nelle carte dell'uso del suolo fornite dalla Regione Puglia e riportate in Tavola 2, l'area della centrale ISE risulta classificata come "area ad uso industriale o commerciale", unitamente all'area del comprensorio industriale ILVA circostante. Le aree circostanti il polo industriale risultano inserite nelle seguenti classi di uso:

- "Aree a pascolo naturale" ad est dell'area;

- “Aree estrattive”, a circa un chilometro a nord-est;
- “Aree a tessuto urbano continuo”, a circa 2,5 km a sud-est.

Dal punto di vista idrografico, nella penisola salentina i caratteri di elevata permeabilità dei litotipi affioranti non consentono un deflusso regolare delle acque di origine meteorica verso il mare, ma favoriscono una diretta alimentazione del sistema idrico sotterraneo.

La rete idrografica naturale è estremamente povera; i brevi corsi d'acqua presenti nell'area sono il Fosso della Felicia ed il Fosso Galese, ubicati approssimativamente 1 km a est del sito, che sfociano nel Mar Piccolo; in particolare, il Fosso della Felicia scorre in direzione nord nordovest-sud sudest a circa 1100-1200 m dall'ingresso del sito verso est. Circa 700–800 m a sud del sito è da segnalare la presenza di un'area depressa morfologicamente e paludosa che riporta il toponimo “Il Padule”. La linea di costa è ubicata a circa 2,4 km verso sudest.

Lungo il confine est del sito scorre poi un tratto degli “Archi della Fontana”, ovvero dell'acquedotto romano del Triglio, che si sviluppa per diversi chilometri tra i comuni di Statte e Crispiano (a nord di Taranto) in maniera del tutto sotterranea per poi affiorare nei pressi della città di Taranto. L'acquedotto è alimentato dalle sorgenti del Triglio che scaturiscono dal Monte Crispiano in zona Vallenza (territorio di Statte), a 120 m sul livello del mare.

La raccolta dei dati geografici sopra descritti è stata eseguita ricercando la documentazione cartografica, i rilievi fotogrammetrici e le planimetrie degli stabilimenti industriali presso il Comune di Taranto, la Regione Puglia, la Provincia di Taranto e l'ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente). È stato inoltre richiesto il rilievo fotogrammetrico dell'area in oggetto ad una società di Taranto che si occupa di tecnologie per la pianificazione e la gestione del territorio.

Le informazioni reperite in relazione al comprensorio industriale, riguardano la carta tecnica regionale in formato elettronico, ed alcune mappe tematiche (uso del suolo, idrografia superficiale, inquadramento geologico) inserite nelle tavole allegate, fornite dal servizio cartografico della Regione Puglia. Mediante alcuni siti internet specializzati, sono state reperite invece le immagini aeree e le mappe geografiche e della viabilità dell'area di Taranto.

Tuttavia si sottolinea che, come spesso accade per aree industriali rilevanza nazionale o strategica, i rilievi fotogrammetrici aerei e le carte tecniche regionali dell'area risultano oscurate per motivi di sicurezza e, in esse, non sono visibili gli stabilimenti del comprensorio.

2.2 Aree oggetto d'investigazione

Sulla base di quanto riportato nel documento "Dichiarazione Ambientale EMAS, ISE S.p.A., Centrale di Taranto" del 31/03/2003, si riportano alcune note tecniche e descrizioni dell'impianto termoelettrico ISE, oggetto delle indagini ambientali effettuate tra Febbraio e Maggio 2004.

In Figura 2.2 si riporta un layout dello stabilimento con l'ubicazione degli impianti descritti nei paragrafi 2.2.1 e 2.2.2 (fonte: "Dichiarazione Ambientale EMAS, ISE S.p.A., Centrale di Taranto" del 31.03.2003).

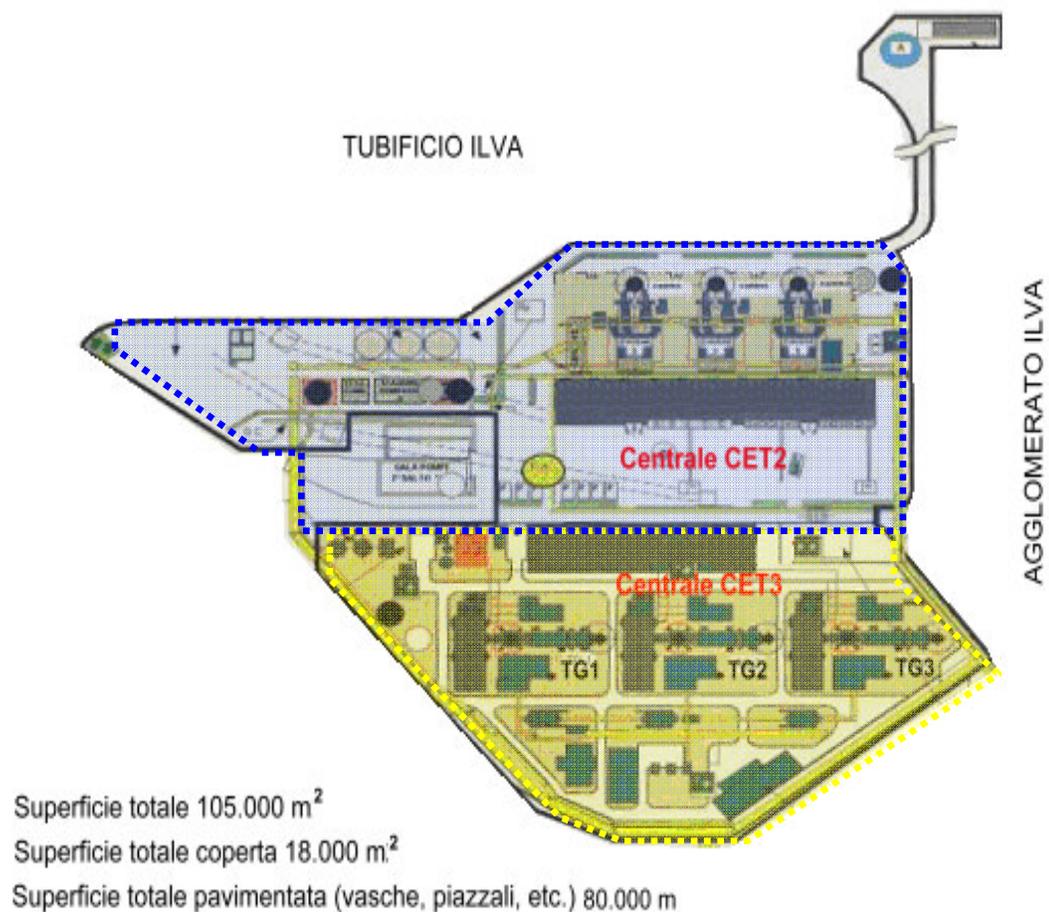


Figura 2.2: Layout dello stabilimento. In figura sono indicati gli impianti CET2 (tratteggiato di blu) e CET3 (tratteggiato giallo).

2.2.1 Impianto CET2

L'impianto CET2, è costituito da tre unità denominate "monoblocco", simili tra loro, e utilizzate per la produzione di energia elettrica. Utilizzano come combustibile i gas provenienti direttamente dai processi siderurgici dello stabilimento ILVA, integrandoli, se necessario, con gas naturale e olio combustibile. La potenza media erogata da ogni monoblocco è di circa 140 MW.

L'attuale configurazione risale al maggio 1974, anno di realizzazione dei primi impianti della Centrale, ed ha subito, nel periodo 1999-2001, un'importante ristrutturazione del sistema di combustione con la sostituzione dei bruciatori esistenti con bruciatori di nuova concezione a bassa produzione di NOx, con possibilità di utilizzo di gas naturale in alternativa o integrazione dei gas siderurgici.

Il vapore e l'energia elettrica alla tensione di 66 kV prodotta da CET2 sono forniti agli impianti ILVA.

2.2.2 Impianto CET3

CET3 utilizza un impianto a ciclo combinato cogenerativo, la cui costruzione risale al 1996 come risanamento e ripotenziamento di una centrale esistente all'interno dello stabilimento siderurgico, successivamente dismessa. I combustibili utilizzati sono gas provenienti dai processi siderurgici dello stabilimento ILVA integrati con gas naturale.

L'impianto CET3 si compone di un sistema di trattamento e miscelazione dei gas siderurgici e di tre moduli identici per la produzione di energia elettrica e vapore in ciclo combinato, ciascuno dei quali eroga una potenza media di circa 180 MW. CET3 è dotato di un impianto di idrodepurazione a fanghi attivi ed di un impianto di trattamento acque reflue a funzionamento in continuo.

I gas siderurgici che pervengono all'impianto CET3, prima della loro immissione in turbina, passano attraverso un impianto di trattamento in grado di eliminare i contaminanti che potrebbero danneggiare le turbine e, al tempo stesso, di ridurre l'impatto in atmosfera della combustione. In particolare è predisposto un sistema di filtri decatramatori (tre filtri in parallelo, dei quali uno di riserva, dimensionati ciascuno per una portata di gas pari al 50% di quella complessiva) provvisti di un separatore acqua-catrame.

L'energia elettrica prodotta da CET3 è immessa alla tensione di 220 kV nella Rete di Trasmissione Nazionale in un punto di consegna al di fuori della Centrale. Inoltre, l'impianto fornisce vapore in pressione agli stabilimenti ILVA.

Entrambi gli impianti CET2 e CET3, utilizzano varie tipologie di acqua in ingresso fornite dallo stabilimento ILVA sulla base di un contratto di somministrazione dei servizi: acqua marina prelevata dal Mar Piccolo, acqua demineralizzata ed acqua industriale. Le acque in entrata nello stabilimento e

le acque di processo vengono monitorate con frequenza variabile giornaliera e semestrale, in relazione alla criticità ambientale del processo, nei canali denominati N1 ASI e N2 ASI. I limiti legislativi di riferimento sono quelli previsti dal D.Lgs 152/99, Allegato 5, Tabella 3.

3.0 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' DI INDAGINE

3.1 Introduzione

Le attività di indagine sono state realizzate tra il 10/02/2004 ed il 21/10/2004, secondo quanto previsto nel Piano di Caratterizzazione Ambientale (Prot. Ri.Bo. n. 11623 del 03/12/2001), approvato dal Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio durante la Conferenza dei Servizi istruttoria del 25/07/2002, svoltasi presso il Ministero dell'Ambiente a Roma. Esse sono state inoltre integrate sulla base delle richieste emerse nel corso della riunione tecnica con le PP-AA locali (Provincia di Taranto e ARPA di Taranto), tenutasi in data 28/01/2004 presso gli uffici della centrale ISE. (cfr. Documento ENSR R.1/11048008 "Indagini di Caratterizzazione Ambientale del sottosuolo del sito ISE di Taranto, Protocollo d'indagine", Febbraio 2004).

I verbali della Conferenza dei Servizi e della riunione tecnica sopra citata sono riportati in Allegato 1.

Durante le indagini sono state realizzate le seguenti attività:

- Prelievo ed analisi chimiche dei seguenti campioni "accessori":
 - fanghi sedimentati al fondo dei pozzetti delle reti fognarie;
 - top soil prelevati in aree non coperte;
- Sondaggi superficiali spinti alla profondità di circa 8,5 m dal piano campagna (p.c.), attrezzati con tubi piezometrici per il campionamento delle acque della falda superficiale; prelievo di campioni di terreno da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio;
- Sondaggi profondi spinti alla profondità indicativa di 30 m dal piano campagna sino ad intercettare l'acquifero profondo ed attrezzati con tubi piezometrici per il campionamento delle acque della falda profonda;
- Definizione dei parametri geologici per la determinazione, sui campioni argillosi, dei seguenti parametri fisici: peso di volume, peso specifico, contenuto naturale di umidità, granulometria, limiti di Atterberg;
- Monitoraggio trimestrale delle acque della falda superficiale e profonda ed analisi chimiche per la determinazione dello stato qualitativo delle stesse;
- Prove per la determinazione del coefficiente di permeabilità dell'acquifero superficiale;

- Misure periodiche della soggiacenza in tutti i piezometri superficiali e profondi (con cadenza quindicinale);
- Prelievo di campioni di acqua in entrata ed in uscita dal circuito di raffreddamento delle centrali ISE CET2 e CET3.

Di seguito vengono descritte in dettaglio le modalità operative adottate in campo, le metodologie analitiche di campo e di laboratorio, nonché i risultati ottenuti dalle indagini suddette.

3.2 Attività di campo

3.2.1 Prelievo dei campioni “accessori”

Al fine di ottenere una conoscenza generale delle potenziali sorgenti di contaminazione del sottosuolo delle centrali in esame, sono stati prelevati alcuni campioni definiti “accessori”, come sintetizzato di seguito:

- N. 5 campioni di fanghi prelevati dal fondo dei pozzetti in alcuni punti della rete fognaria;
- N. 5 campioni di top soil in aree non coperte.

L’ubicazione dei punti di prelievo, riportata in Tavola 3, è stata scelta in modo da comprendere l’intero sito in esame; il prelievo è stato eseguito tramite utensili decontaminati, privi di rivestimenti in vernice.

Per ogni campione “accessorio”, sono state prelevate tre aliquote: un’aliquota è stata inviata al laboratorio di analisi, una è stata messa a disposizione delle Autorità di Controllo e l’ultima è stata riposta in frigoriferi appositamente predisposti per mantenere il campione ad una temperatura di 4 °C, in caso dovessero rendersi necessarie eventuali verifiche.

3.2.2 Esecuzione dei sondaggi e prelievo dei campioni di terreno

Tutti i punti di indagine sono stati preventivamente verificati mediante un’apposita apparecchiatura rilevatrice di strutture interrato quali canaline, tubazioni ecc.

In corrispondenza di tutti i punti di indagine sono stati inoltre realizzati dei prescavi con lo scopo di verificare anche visivamente l’eventuale presenza di sottoservizi. Gli scavi, approfonditi fino a circa 2 m da piano campagna, sono stati eseguiti tramite una terna gommata dotata di benna a cucchiaio rovescio della capacità di circa 1 m³.

In fase di realizzazione dei prescavi, in corrispondenza dei sondaggi superficiali sono stati prelevati 2 campioni di terreno:

- 1° campione omogeneo alla profondità di circa 0,8 - 1 m da p.c.;
- 2° campione omogeneo alla profondità di circa 1 - 2 m da p.c.

Al termine del campionamento, il prescavo è stato ritombato e l'area è stata approntata per l'arrivo della sonda.

Durante le attività di indagine svolte sull'area in oggetto sono stati perforati 20 sondaggi geognostici così suddivisi:

- N. 16 sondaggi superficiali fino al raggiungimento dell'orizzonte argilloso ad una profondità indicativa di 8,5 m dal piano campagna (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11, S12, P01s, P02s, P03s e P04s);
- N. 4 sondaggi profondi, contigui ai superficiali "P", spinti alla profondità massima di 30 m dal piano campagna sino ad intercettare l'acquifero profondo (P01p, P02p, P03p, P04p).

L'ubicazione dei punti d'indagine è riportata nella Tavola 3.

I sondaggi sono stati realizzati per mezzo di una sonda con attrezzatura a rotazione, a carotaggio continuo e senza l'ausilio di fluidi di perforazione. Per la terebrazione dei soli sondaggi profondi in calcarenite è stata utilizzata acqua potabile come fluido di perforazione.

Nell'esecuzione dei sondaggi è stato utilizzato un carotiere del diametro pari a 101/127 mm e colonna di rivestimento del diametro pari a 127/152 mm.

Durante la terebrazione, per ciascun sondaggio superficiale, in corrispondenza del primo orizzonte argilloso è stato prelevato un campione di terreno tramite fustella per la determinazione in laboratorio dei parametri fisici e geotecnici più significativi.

Nella tabella seguente sono illustrate le profondità da p.c. raggiunte durante l'esecuzione dei sondaggi suddetti e le profondità di prelievo del campione per le analisi fisiche e geotecniche.

Tabella 3.1: Profondità raggiunta durante i sondaggi superficiali e profondi, e profondità di prelievo del campione per le analisi fisiche e geotecniche

Sondaggi	Profondità di carotaggio (m da p.c.)	Profondità di prelievo del campione di terreno per le analisi fisiche e geotecniche (m da p.c.)
<u>Superficiali</u>		
P01s	6,2	6,2 – 6,7
P02s	8,5	//
P03s	11,2	11,2 – 11,7
P04s	7,5	7,5 – 8,0
S01	9,0	9,0 – 9,5
S02	9,0	9,0 – 9,5
S03	7,0	7,0 – 7,5
S04	8,0	8,0 – 8,5
S05	9,0	9,0 – 9,5
S06	7,5	7,5 – 8,0
S07	10,0	10,0 – 10,7
S08	9,0	9,0 – 9,5
S09	9,0	9,0 – 9,5
S10	9,0	9,0 – 9,5
S11	10,0	10 – 10,5
S12	9,0	9,0 – 9,5
<u>Profondi</u>		
P01p	16,0	
P02p	22,0	
P03p	30,0	
P04p	21,0	

Come evidenziato nella tabella soprastante, in corrispondenza del sondaggio P02s non è stato prelevato il campione di terreno per le analisi fisiche e geotecniche, in quanto non è stata riscontrata la presenza di un significativo orizzonte argilloso.

La descrizione di dettaglio delle stratigrafie dei sondaggi suddetti è riportata in Allegato 2.

Le carote recuperate sono state riposte in apposite cassette catalogatrici univocamente identificate con il riferimento al cantiere, al numero di sondaggio ed alla profondità di perforazione. Esse hanno consentito di definire la stratigrafia del sottosuolo e di prelevare campioni di terreno rappresentativi, da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio. L'analisi delle carote è stata annotata su appositi rapporti di campo. Di tutte le carote è stata infine eseguita un'adeguata documentazione fotografica.

Il piano di campionamento ha previsto, per ogni sondaggio superficiale, il prelievo di campioni omogenei di terreno ad intervalli regolari di un metro (si veda la Tabella 3.2).

Il prelievo dei campioni è avvenuto immediatamente dopo l'estrazione del materiale dal carotiere, al fine di evitare la perdita di sostanze volatili.

Come concordato con le PP.AA. competenti nella riunione tecnica del 28/01/2004, prima di eseguire la regolare omogeneizzazione e quartatura del campione, è stata prelevata un'aliquota di terreno per le analisi quantitative dei composti organici volatili (VOC – Volatile Organic Compounds). L'aliquota estratta dal carotiere è stata immediatamente sigillata in un contenitore da 100 ml e conservata a bassa temperatura prima dell'invio al laboratorio di analisi.

Si è proceduto quindi alla regolare omogeneizzazione e quartatura del campione, introdotto successivamente in un recipiente di vetro da 800 ml, per l'analisi degli altri parametri ricercati (cfr. paragrafo 3.4).

Sono stati prelevati complessivamente 134 campioni. Dei campioni prelevati, come indicato nel Protocollo d'Indagine (N. documento ENSR: R.1/11048008), si è provveduto ad analizzare, per ogni sondaggio, un campione di terreno rappresentativo dell'orizzonte superficiale (tra 0 e 1 m da p.c.), intermedio (tra 4 e 6 m da p.c.) e profondo (a fondo foro, tra 7 e 9 m da p.c.), per un totale di 50 campioni.

Dei campioni prelevati dal carotaggio P02s si è inoltre provveduto ad analizzare il campione prelevato a 6-7 m da p.c. e quello prelevato a 8-8,5 m da p.c., al fine di circoscrivere la contaminazione da idrocarburi riscontrata nel campione prelevato a 7-8 m da p.c.

La tabella seguente sintetizza gli orizzonti di terreno campionati ed i campioni inviati al laboratorio per le analisi chimiche.

Tabella 3.2: Orizzonti di terreno campionati e campioni inviati al laboratorio per le analisi chimiche.		
Sondaggio	Intervallo di campionamento (m da p.c.)	Campioni inviati ad analisi
P01s	0,8 – 1,0	X
	1,8 – 2,0	
	3,0 – 4,0	
	4,0 – 5,0	X
	5,0 – 6,0	X
P02s	0,8 - 1,0	X
	1,0 - 2,0	

Tabella 3.2: Orizzonti di terreno campionati e campioni inviati al laboratorio per le analisi chimiche.		
Sondaggio	Intervallo di campionamento (m da p.c.)	Campioni inviati ad analisi
	2,0 - 3,0	
	3,0 - 4,0	
	4,0 - 5,0	X
	5,0 - 6,0	
	6,0 - 7,0	X
	7,0 - 8,0	X
	8,0 - 8,5	X
P03s	0,8 - 1,0	X
	1,8 - 2,0	
	2,0 - 3,0	
	3,0 - 4,0	
	4,0 - 5,0	X
	5,0 - 6,0	
	6,0 - 7,0	
	7,0 - 8,0	X
P04s	0,8 - 1,0	X
	1,8 - 2,0	
	2,0 - 3,0	
	3,0 - 4,0	
	4,0 - 5,0	X
	5,0 - 6,0	
	6,0 - 7,0	
	7,0 - 8,0	X
S01	0,8 - 1,0	X
	1,8 - 2,0	
	2,0 - 3,0	
	3,0 - 4,0	
	4,0 - 5,0	X
	5,0 - 6,0	
	6,0 - 7,0	
	7,0 - 8,0	X
S02	8,0 - 8,5	
	0,8 - 1,0	X
	1,6 - 1,7	
	2,0 - 3,0	
	3,0 - 4,0	
	4,0 - 5,0	X
	5,0 - 6,0	
6,0 - 7,0		

Tabella 3.2: Orizzonti di terreno campionati e campioni inviati al laboratorio per le analisi chimiche.		
Sondaggio	Intervallo di campionamento (m da p.c.)	Campioni inviati ad analisi
	7,0 - 8,0	X
	8,0 - 8,5	
S03	0,8 - 1,0	X
	1,8 - 2,0	
	3,0 - 4,0	
	4,0 - 5,0	X
	5,0 - 6,0	
	6,0 - 7,0	X
S04	0,8 - 1,0	X
	1,8 - 2,0	
	2,0 - 3,0	
	3,0 - 4,0	
	4,0 - 5,0	X
	5,0 - 6,0	
	6,0 - 7,0	
	7,0 - 8,0	X
S05	0,8 - 1,0	X
	1,8 - 2,0	
	2,0 - 3,0	
	3,0 - 4,0	
	4,0 - 5,0	X
	5,0 - 6,0	
	6,0 - 7,0	
	7,0 - 8,0	X
	8,0 - 9,0	
S06	0,8 - 1,0	X
	1,8 - 2,0	
	2,0 - 3,0	
	3,0 - 4,0	
	4,0 - 5,0	X
	5,0 - 6,0	
	6,0 - 7,0	
	7,0 - 7,5	X
S07	0,8 - 1,0	X
	1,8 - 2,0	
	2,0 - 3,0	
	3,0 - 4,0	
	4,0 - 5,0	X
	5,0 - 6,0	
	6,0 - 7,0	

Tabella 3.2: Orizzonti di terreno campionati e campioni inviati al laboratorio per le analisi chimiche.		
Sondaggio	Intervallo di campionamento (m da p.c.)	Campioni inviati ad analisi
	7,0 - 8,0	X
	8,0 - 9,0	
S08	0,8 - 1,0	X
	1,8 - 2,0	
	2,0 - 3,0	
	3,0 - 4,0	
	4,0 - 5,0	X
	5,0 - 6,0	
	6,0 - 7,0	
	7,0 - 8,0	X
	8,0 - 9,0	
S09	0,8 - 1,0	X
	1,8 - 2,0	
	2,0 - 3,0	
	3,0 - 4,0	
	4,0 - 5,0	X
	5,0 - 6,0	
	6,0 - 7,0	
	7,0 - 8,0	X
	8,0 - 9,0	
S10	0,8 - 1,0	X
	1,8 - 2,0	
	2,0 - 3,0	
	3,0 - 4,0	
	4,0 - 5,0	X
	5,0 - 6,0	
	6,0 - 7,0	
	7,0 - 8,0	X
	8,0 - 8,5	
S11	0,8 - 1,0	X
	1,8 - 2,0	
	2,0 - 3,0	
	3,0 - 4,0	
	4,0 - 5,0	X
	5,0 - 6,0	
	6,0 - 7,0	
	7,0 - 8,0	X
	8,0 - 9,0	
S12	0,8 - 1,0	X
	1,8 - 2,0	

Tabella 3.2: Orizzonti di terreno campionati e campioni inviati al laboratorio per le analisi chimiche.		
Sondaggio	Intervallo di campionamento (m da p.c.)	Campioni inviati ad analisi
	2,0 - 3,0	
	3,0 - 4,0	
	4,0 - 5,0	X
	5,0 - 6,0	
	6,0 - 7,0	
	7,0 - 8,0	X
	8,0 - 9,0	

Come evidenziato nella Tabella 3.2, non è stato possibile campionare i seguenti orizzonti di terreno, a causa di recupero insufficiente di materiale durante la perforazione:

- P01s da 2 a 3 m da p.c.;
- S03 da 2 a 3 m da p.c.

Per ogni campione di terreno sono state prelevate tre aliquote: un' aliquota è stata inviata al laboratorio di analisi, una è stata messa a disposizione delle Autorità di Controllo e l'ultima è stata conservata in frigoriferi appositamente predisposti e mantenuti ad una temperatura di 4°C, come campione di verifica.

I campionamenti sono stati eseguiti secondo procedure ENSR di QA/QC (assicurazione e controllo qualità), per assicurare che i dati ottenuti dall'indagine in campo siano tecnicamente affidabili, statisticamente validi e propriamente documentati (si veda il paragrafo 3.4).

Durante l'esecuzione dei sondaggi si sono verificate alcune condizioni che hanno reso necessaria una variazione in corso d'opera dal protocollo d'indagine, secondo le modalità di seguito elencate. Tali variazioni sono state concordate con la Direzione Lavori di ISE:

Sondaggi superficiali

- P01s: Durante l'esecuzione del sondaggio è stata riscontrata la presenza dell'orizzonte argilloso alla profondità di circa 6 m da p.c.; la terebrazione è stata quindi spinta fino ad una profondità di 6,2 m da p.c. rispetto ai 8,5 m da p.c. inizialmente previsti.

- P02s: Durante l'esecuzione del sondaggio non è stata riscontrata la presenza di un significativo orizzonte argilloso. L'orizzonte ricercato è risultato costituito da uno strato di circa un metro di argilla sabbiosa moderatamente addensata, seguito da un metro di sabbia argillosa. Non è stato quindi prelevato alcun campione per la determinazione dei parametri fisici e geotecnici.
- S03: Durante l'esecuzione del sondaggio è stata riscontrata la presenza dell'orizzonte argilloso alla profondità di circa 6 m da p.c.; la terebrazione è stata quindi spinta fino ad una profondità di 7 m da p.c. rispetto ai 8,5 m da p.c. inizialmente previsti.

Sondaggi profondi

- P01p: durante l'esecuzione del sondaggio è stata riscontrata da 7,4 m di profondità da p.c. la presenza di calcarenite alterata e notevolmente fessurata, a tratti carsificata, che ha di fatto impedito il raggiungimento della profondità stabilita di 30 m da p.c., utilizzando le tecniche di perforazione stabilite nel Piano di Caratterizzazione. In accordo con i tecnici ISE, che hanno supervisionato tali attività, la terebrazione è stata spinta fino alla profondità di 16 m da p.c.
- P02p: durante l'esecuzione del sondaggio è stata rilevata la presenza, all'interno dell'orizzonte carbonatico a 22 m di profondità da p.c., di una cavità di notevoli dimensioni (spessore superiore a 3 m); la terebrazione è stata quindi spinta fino ad una profondità di 22 m da p.c. rispetto ai 30 m da p.c. inizialmente previsti.
- P04p: durante l'esecuzione del carotaggio è stata rilevata la presenza di calcarenite alterata e notevolmente fessurata, a tratti carsificata, da 14 m di da p.c. Questo ha di fatto impedito il raggiungimento della profondità prevista di 30 m da p.c., utilizzando le tecniche di perforazione stabilite nel Piano di Caratterizzazione. In accordo con la Direzione Lavori di ISE, la terebrazione è stata spinta sino alla profondità di 21 m da p.c.

3.2.3 Installazione dei piezometri

In corrispondenza di tutti i sondaggi sono stati installati i seguenti piezometri:

- N. 16 piezometri superficiali per il monitoraggio della falda freatica (S01, S02, S03, S04, S05, S06, S07, S08, S09, S10, S11, S12, P01s, P02s, P03s e P04s);
- N. 4 piezometri profondi per il monitoraggio della falda idrica (P01p, P02p, P03p, P04p)

Allestimento dei sondaggi superficiali a piezometro

All'interno di ciascun foro di sondaggio è stato installato un tubo piezometrico in PVC del diametro esterno di 3" (75 mm), costituito da un tratto superiore cieco ed un tratto terminale microfessurato, quest'ultimo compreso tra fondo foro ed una quota di almeno due metri al di sopra del livello statico della falda superficiale. Nell'intercapedine tra la tubazione in PVC ed il foro di sondaggio è stato introdotto un filtro drenante in ghiaietto lavato, calibrato per tutto lo spessore del tratto filtrante; la sommità del dreno è stata posta a circa 0,5 m al di sopra della sommità del tratto filtrante. Al di sopra del materiale drenante è stato posto un "tappo" in materiale bentonitico dello spessore di circa 1 m, con funzione di separazione tra il dreno e la cementazione superiore. Il tappo bentonitico è stato sigillato da una miscela cementizia sino in superficie. Le teste dei piezometri sono state fornite di tappi con chiusura ermetica di sicurezza, e completati da pozzetti carrabili in calcestruzzo con chiusini in ghisa sferoidale, se ubicate in un'area di transito veicoli o persone.

Allestimento dei sondaggi profondi a piezometro

Come per i sondaggi superficiali, all'interno dei fori risultanti dai sondaggi profondi sono stati installati tubi piezometrici in PVC del diametro esterno di 3" (75 mm), costituiti da un tratto superiore cieco ed un tratto terminale microfessurato. Il tratto filtrante è stato posto in corrispondenza dei livelli acquiferi profondi. Nell'intercapedine tra la tubazione in PVC ed il foro di sondaggio è stato introdotto un filtro drenante in ghiaietto lavato, calibrato per tutto lo spessore del tratto filtrante; la sommità del dreno è stata posta a circa 0,5 m al di sopra della sommità del tratto filtrante. Al di sopra del materiale drenante è stato posto un "tappo" in materiale bentonitico dello spessore sufficiente a ripristinare il setto argilloso impermeabile e separare idraulicamente i diversi corpi acquiferi. Il tappo bentonitico è stato quindi sigillato con una miscela cementizia sino in superficie. Le teste dei piezometri sono state fornite di tappi con chiusura ermetica di sicurezza, e completati da pozzetti carrabili in calcestruzzo con chiusini in ghisa.

Al termine dell'installazione si è proceduto allo sviluppo di tutti i piezometri (superficiali e profondi) emungendo, tramite pompa sommersa a portata elevata, un quantitativo d'acqua di falda sufficiente a liberare il tubo piezometrico dal materiale fine accumulatosi in fase di perforazione. Le acque derivanti dallo sviluppo sono state temporaneamente stoccate in cisterne ed in fusti opportunamente predisposti e successivamente inviate a smaltimento, previa analisi chimica di caratterizzazione.

L'ubicazione dei piezometri è riportata nella Tavola 3.

In Allegato 2 sono riportate le stratigrafie e gli schemi costruttivi di ciascun piezometro.

Come descritto al paragrafo 3.2.2, durante l'esecuzione dei sondaggi si sono verificate alcune condizioni che hanno reso impossibile il raggiungimento delle profondità stabilite. I piezometri sono stati di conseguenza installati alle profondità raggiunte:

- P01s: il piezometro è stato installato alla profondità di 7 m da p.c.
- P02s: il piezometro è stato intestato all'interno dell'orizzonte sabbioso argilloso, alla profondità di 9 m da p.c.; durante il sondaggio non è stata tuttavia rilevata la presenza della falda freatica.
- P01p: il piezometro è stato installato alla profondità di 16 m da p.c., in accordo con i tecnici ISE che hanno supervisionato le attività.
- P02p: il piezometro è stato installato alla profondità di 22 m da p.c., in accordo con i tecnici ISE che hanno supervisionato le attività.
- P04p: il piezometro è stato installato alla profondità di 21 m da p.c., in accordo con i tecnici ISE che hanno supervisionato le attività.

3.2.4 Prelievo delle acque di falda

Come previsto nel Piano di Caratterizzazione, dai piezometri installati sono stati eseguiti monitoraggi periodici dello stato qualitativo della falda superficiale e della falda profonda. Ad oggi, sono state eseguite tre sessioni di monitoraggio nelle seguenti date:

- 30/03/2004 – 07/04/2004
- 17/06/2004 – 23/06/2004
- 27/09/2004 – 04/10/2004

Tali campionamenti, secondo quanto previsto nel Piano di Caratterizzazione, proseguiranno con una frequenza trimenstrale per un periodo di almeno 17 mesi dalla caratterizzazione.

I prelievi delle acque di falda sono stati eseguiti secondo le seguenti procedure di campionamento:

Dopo la misura della soggiacenza della falda tramite freatimetro e dell'eventuale presenza di prodotto libero surnatante per mezzo di un'apposita sonda (Interface Probe), si è proceduto allo spurgo dei piezometri tramite una pompa sommersa. Le attività di spurgo sono state eseguite mediante la metodologia "low flow purging" al fine di garantire l'emungimento di almeno 3 - 5 volte il volume d'acqua contenuta nel piezometro, senza perturbare in modo sensibile il livello statico della falda.

Mediante apposita strumentazione di campo, durante le attività di spurgo è stata effettuata sull'acqua di falda la misurazione dei parametri chimico-fisici maggiormente rappresentativi, quali: temperatura, pH, conducibilità elettrica, potenziale redox. I dati suddetti sono stati riportati su un apposito modulo a

cura del responsabile ENSR delle attività di campionamento, unitamente ad evidenze macroscopiche quali torbidità, colorazione, odore.

I moduli di campionamento delle acque sotterranee sono riportati in Allegato 3.

Tutti gli strumenti utilizzati per le operazioni di spurgo sono stati decontaminati di volta in volta come descritto nel paragrafo 3.4.

Le acque derivanti dalle attività di spurgo sono state temporaneamente stoccate in cisterne ed in fusti in plastica opportunamente predisposti e successivamente smaltiti come rifiuti liquidi tramite ditte autorizzate e previa analisi chimica di caratterizzazione.

A seguito dello spurgo, sono stati effettuati i campionamenti delle acque secondo il seguente schema:

Piezometri superficiali:

- primo prelievo tramite bailer monouso in polietilene posto a 10 cm al di sotto del pelo libero della falda superficiale, in regime inalterato della falda;
- secondo prelievo alla profondità di circa 6 m dal piano campagna tramite pompa sommersa a bassa portata "low flow purging".

Piezometri profondi:

- primo prelievo tramite bailer monouso in polietilene posto a 10 cm al di sotto del pelo libero della falda profonda, in regime inalterato della falda;
- secondo prelievo alla profondità di circa 1 m dal fondo del piezometro con pompa sommersa a bassa portata "low flow purging".

La tabella seguente riassume i campioni prelevati e le profondità di campionamento.

INSERIRE TAB. 3.3 CAMPAGNE MONITOR. ACQUE

Tabella 3.3: Campioni di acqua di falda superficiale e profonda prelevati durante le sessioni di monitoraggio del 30/03/04 - 07/04/04 - 27/09/04 e relativa profondità di campionamento				

Come evidenziato nella tabella sopra indicata, non sono stati campionati i seguenti piezometri:

- P01s: non è stata rilevata presenza di uno spessore di acqua all'interno del piezometro sufficiente da permettere il campionamento della falda superficiale.
- P02s: non è stata rilevata presenza di acqua di falda superficiale.
- P01p: non è stata rilevata presenza di uno spessore di acqua all'interno del piezometro sufficiente da permettere il campionamento della falda profonda.

L'acqua prelevata da ciascun piezometro è stata riposta in appositi contenitori a chiusura ermetica, in ordine di volatilità degli analiti ricercati, secondo il seguente schema:

- 2 vials ermetici per l'analisi dei composti volatili (BTEX), riempiti evitando la formazione di spazi di testa o bolle d'aria;
- 1 contenitore da 1 litro in PE per l'analisi dei metalli (alluminio, arsenico, cadmio, cobalto, cromo totale, cromo VI, ferro, mercurio, nichel, piombo, rame, manganese, vanadio, zinco);
- 1 contenitore da 0,5 litri sterile per l'analisi dei parametri microbiologici (colibatteri totali);
- 5 contenitori da 1 litro di vetro ambrato, con tappo munito di membrana in PTFE per l'analisi di torbidità, pH, conducibilità, alcalinità, ammonio, cloruri, nitrati, calcio, potassio, magnesio, sodio, durezza totale, residuo fisso, cianuri liberi, nitriti, solfati, fenoli totali, fitofarmaci, sommatoria PCDD, PCDF, PCB, amianto (fibre A>10 mm), IPA.

Dopo essere stato etichettato, ciascun campione è stato introdotto in un contenitore termico rigido e mantenuto alla temperatura di 4 °C, al fine di mantenere le proprietà chimiche inalterate sino alle analisi. I campioni così raccolti sono stati inviati entro l'arco di 24 ore al laboratorio chimico per le determinazioni analitiche specificate sulle catene di custodia, una copia della quale è stata inserita all'interno del contenitore. Le catene di custodia sono riportate in Allegato 4.

Tutti i campioni di acqua sono stati prelevati in triplice aliquota: un'aliquota è stata inviata al laboratorio per le analisi quantitative, una è stata messa a disposizione delle Autorità di Controllo e l'ultima è stata conservata in appositi frigoriferi alla temperatura costante di 4 °C, come campione di verifica.

Tutte le attività di campo sono state eseguite secondo procedure interne ENSR di QA/QC (assicurazione e controllo qualità, così come descritte in paragrafo 3.4) per assicurare che i dati ottenuti dall'indagine in campo siano tecnicamente affidabili, statisticamente validi e propriamente documentati.

3.2.5 Determinazione del coefficiente di permeabilità dell'acquifero superficiale

Al fine di determinare il coefficiente di permeabilità nei piezometri presenti in sito e captanti l'acquifero superficiale è stato indotto tramite pompa sommersa un abbassamento significativo della falda all'interno dei piezometri stessi, mantenuto costante per almeno 30 minuti. Trascorso il tempo suddetto, l'emungimento è stato interrotto e sono state misurate le risalite della falda acquifera, tramite letture freaticometriche ad intervalli di tempo crescenti programmati (30", 60", 90", 120", 240", ..), fino al ristabilirsi delle condizioni iniziali di altezza di falda.

Dall'interpolazione della curva "tempo-risalita", viene sperimentalmente stimato il valore della trasmissività dell'acquifero superficiale, da cui si ricava il coefficiente di permeabilità dello stesso. A tal proposito si veda il paragrafo 4.4.

Le prove sono avvenute nei giorni compresi tra il 27-30/04/2004 e tra il 4-5/05/2004. I piezometri sui quali è stata eseguita la prova sono S01, S02, S03, S04, S05, S06, S07, S08, S09, S10, S11, S12, P03s, P04s.

Sono stati inoltre utilizzati un freaticometro per la misura dei livelli piezometrici ed un frequenzimetro per il controllo della portata.

Nello specifico, le procedure operative seguite per l'esecuzione delle prove a portata variabile sono state le seguenti:

1. Spurgo dei piezometri e misurazione dei livelli piezometrici statici all'interno dei piezometri, precedentemente allo svolgimento della prova.
2. Attivazione della pompa in modo da ottenere una portata di esercizio che garantisca la stabilizzazione del livello dinamico dell'acqua di falda nel piezometro ("portata di prova") per un intervallo di tempo di circa 30 minuti. Una volta ottenuto l'assestamento del livello di falda, è stata misurato il mantenimento della portata di prova ad intervalli regolari di circa 3 minuti.
3. Spegnimento della pompa e misurazione del livello piezometrico (dinamico) nei piezometri a intervalli di tempo crescenti programmati (30", 60", 90", 120", 240", ..), fino al ristabilirsi delle condizioni statiche iniziali.

3.2.6 Misura periodica della soggiacenza della falda superficiale e profonda

Con cadenza quindicinale, sono state eseguite misure della soggiacenza della falda superficiale e profonda da ogni piezometro installato durante le indagini di caratterizzazione in oggetto. Le misure sono state effettuate nelle seguenti date:

- 23/03/2004;
- 07/04/2004;
- 27/04/2004;
- 14/05/2004;
- 03/06/2004;
- 18/06/2004;
- 22/07/2004;
- 27/09/2004;
- 14/10/2004;
- 21/10/2004.

Il monitoraggio periodico della soggiacenza della falda proseguirà per un periodo non inferiore ai 17 mesi dall'inizio della caratterizzazione, come indicato nel Piano di Caratterizzazione del sito.

I risultati derivanti dalle misure suddette sono descritti nel paragrafo 4.5.

3.2.7 Prelievo delle acque dal ciclo di raffreddamento delle centrali CET2 e CET3

Allo scopo di caratterizzare le acque relative al ciclo di raffreddamento delle centrali CET2 e CET3, in data 03/06/2004 è stato eseguito un prelievo delle acque in 5 punti di campionamento.

Le acque di raffreddamento utilizzate nelle centrali ISE vengono prelevate da ILVA direttamente dal Mar Piccolo tramite apposite stazioni di pompaggio e distribuite all'intero polo industriale tramite condutture interrato. Le acque di scarico fuoriescono dal sito attraverso due canali a pelo libero. Lo schema delle principali condutture interrato del circuito di raffreddamento delle centrali ISE è riportato nella Tavola 4.

I prelievi sono stati eseguiti tramite campionamento manuale; i campioni sono stati denominati come segue:

- **W06:** Acque marine in entrata nell'impianto di raffreddamento della centrale CET3 provenienti dal Mar Piccolo;
- **W07:** Acque in uscita dall'impianto di raffreddamento della centrale CET3;
- **W08:** Acque marine in entrata nell'impianto di raffreddamento della centrale CET3 provenienti dal Mar Piccolo;
- **W09:** Acque in uscita dall'impianto di raffreddamento della centrale CET2;
- **W10:** Acque marine in entrata nell'impianto di raffreddamento della centrale CET2, provenienti dal Mar Piccolo.

I punti di campionamento suddetti sono indicati nella Tavola 4.

L'acqua prelevata è stata riposta in appositi contenitori a chiusura ermetica, ed inviata al laboratorio chimico per le determinazioni analitiche secondo le procedure descritte al paragrafo 3.4.

3.3 Analisi chimico-fisiche di laboratorio: metodi e procedure analitiche

I campioni prelevati durante le indagini di caratterizzazione sono stati inviati al laboratorio THEOLAB di Volpiano (TO), certificato ISO 9001 e accreditato Sinal n° 0094 (UNI EN ISO 17025) per tutte le metodiche analitiche utilizzate in questo progetto.

Il laboratorio ha eseguito le analisi chimiche utilizzando procedure analitiche che includono l'effettuazione di controlli di qualità finalizzati alla verifica della precisione e dell'accuratezza del metodo quali:

- metodo dei bianchi, analizzati per valutare le potenziali sorgenti di contaminazione originate in laboratorio;
- standard di taratura (iniziale e continua);
- surrogati (per le analisi dei composti organici);
- campioni di controllo di laboratorio (LCS);
- utilizzo di reagenti di laboratorio di elevata qualità;

- verifica costante delle procedure di manutenzione e funzionamento degli strumenti di analisi.

3.3.1 Terreni, top soil, fanghi

Complessivamente, nel corso dell'indagine eseguita, sono stati analizzati 50 campioni di terreno, 5 campioni di *top soil* e 5 campioni di fanghi. I suddetti campioni sono stati sottoposti ad analisi chimiche volte alla determinazione dei seguenti parametri:

- Arsenico
- Cadmio
- Cobalto
- Cromo Totale
- Cromo VI
- Mercurio
- Nichel
- Piombo
- Rame
- Stagno
- Zinco
- Cianuri liberi
- Benzene
- Etilbenzene
- Toluene
- Xilene
- Fenoli totali
- Sommatoria fitofarmaci
- Idrocarburi leggeri (C<12)
- Idrocarburi pesanti (C>12)
- Amianto (fibre libere)
- Oli minerali
- IPA
- Vanadio

I campioni superficiali di terreno, i top soil ed i fanghi sono stati analizzati anche per la determinazione dei seguenti parametri:

- Sommatoria PCDD, PCDF
- PCB

Nella seguente tabella sono elencate le metodiche analitiche utilizzate per ogni parametro. I metodi analitici indicati sono riconosciuti a livello nazionale ed internazionale e sono accreditati dall'U.S. Environmental Protection Agency (Agenzia di Protezione dell'Ambiente degli Stati Uniti d'America). Essi sono stati comunicati agli Enti di Controllo (Cfr. Documento ENSR R.1/11048008 "Indagini di Caratterizzazione Ambientale del sottosuolo del sito ISE di Taranto, Protocollo d'indagine, Febbraio 2004).

Tabella 3.4: Parametri analizzati nei campioni di terreno e metodiche analitiche utilizzate	
Parametro analizzato	Metodo analitico
Arsenico	EPA 6020A/98
Cadmio	EPA 6020A/98
Cobalto	EPA 6020A/98
Cromo Totale	EPA 6020A/98
Cromo VI	EPA 7199/96
Mercurio	EPA 6020A/98
Nichel	EPA 6020A/98
Piombo	EPA 6020A/98
Rame	EPA 6020A/98
Stagno	EPA 6020A/98
Zinco	EPA 6020A/98
Cianuri liberi	EPA 9014/96
Benzene	EPA 8260B/94
Etilbenzene	EPA 8260B/94
Toluene	EPA 8260B/94
Xilene	EPA 8260B/94
Fenoli totali	EPA 8270D/98
DDD, DDT, DDE	EPA 8270D/98
Sommatoria PCDD, PCDF	EPA 1613B/94
PCB	EPA 8082A/00
Idrocarburi leggeri (C<12)	EPA 8015C/00 mod (GRO)
Idrocarburi pesanti (C>12)	EPA 8015C/00
Amianto (fibre libere)	IRSA Q 64 App.III 3/96
Oli minerali	EPA 8440/96
IPA	EPA 8270D/98
Vanadio	EPA 6020A/98

Le analisi delle diossine sono state eseguite con metodo ad alta risoluzione HRGC/HRMS US – EPA.

Di seguito si presenta un sommario dei metodi analitici utilizzati per la ricerca dei parametri più significativi.

Metalli

Metodo analitico: EPA SW 6020A/98 – ICP-MS (Plasma ad accoppiamento indotto con Spettrometro di Massa)

Metodo di preparativa del campione: EPA 3005A/92

La metodica d'analisi chimica utilizzata per il rilevamento di metalli in traccia è quella descritta dall'U.S.EPA 6020. Dopo la preparazione del campione, attraverso una digestione acida in microonde, il campione liquido così formato è nebulizzato e trasportato da un carrier (Argon) in una torcia al plasma, gli ioni che si formano (dai rispettivi metalli) sono introdotti in uno spettrometro di massa che determina i rispettivi quantitativi grazie ad un elettromoltiplicatore.

Cromo VI

Metodo analitico: EPA 7199/96 - IC (Cromatografia Ionica)

Metodo di preparativa del campione: EPA 7199/96

Il campione viene filtrato a 0,45 µm, sul filtrato ottenuto viene eseguito un aggiustamento del pH fino a 9 ÷ 9.5 con una soluzione tampone. Un volume definito di campione (50-250 µL) è introdotto nel cromatografo ionico. Inizialmente è utilizzata una colonna di sicurezza per rimuovere le sostanze organiche prima che il Cr VI (come CrO₄²⁻) sia separato grazie alla colonna di scambio anionico. Nel post-colonna il Cr VI è derivatizzato in continuo con della difenilcarbazide che è rilevata tramite rilevatore spettrofotometrico (UV-VIS) alla lunghezza d'onda di 350 nm.

Organici volatili

Metodo analitico: EPA 8260B/94

Metodo di preparativa del campione: EPA 5035/96 - PURGE AND TRAP

Il metodo EPA 5035/96 descrive la preparativa in un sistema chiuso - Purge and Trap e relativo autocampionatore - utilizzata per le analisi di VOCs (composti organici volatili - aromatici e alogenati) in matrici solide (suoli, sedimenti, rifiuti, e matrici assimilabili).

Il metodo è disegnato specificatamente per l'analisi di campioni con VOCs in basse concentrazioni, tuttavia è anche applicabile a campioni con VOCs in alte concentrazioni tramite opportune preparative ed introduzione nel sistema analitico mediante il metodo EPA 5030B/96.

Il metodo è utilizzato in congiunzione con metodi analitici quali ad esempio l' EPA 8015C/00 mod (GRO) e l' EPA 8260B/94.

Principio del metodo: un gas inerte (lo stesso gas usato per l'analisi) viene poi fatto "passare" - purge - attraverso il campione per trasferire i VOCs in fase vapore. Il vapore viene fatto passare attraverso una colonna adsorbente dove i VOCs vengono intrappolati. Dopo che la fase di purging è completata, la colonna adsorbente viene riscaldata e riflussata con il gas inerte e i VOCs vengono introdotti nel sistema analitico.

Il metodo si può eseguire in due modalità: estrazione dei VOCs dal campione mediante sparge dinamico utilizzando lo stesso gas di trasporto usato per l'analisi, oppure estrazione dei VOC in metanolo, spike di una aliquota in acqua ed introduzione nel sistema analitico mediante il metodo EPA 5030B/96.

Gli organici volatili (o purgeables) in campioni di acqua o suolo, sono analizzati con il metodo EPA 8260B/94. In questo metodo si utilizza un gas cromatografo dotato di colonna capillare con rilevatore spettrometro di massa GC/MS .

Si utilizzano Standard Interni fluorurati e deuterati (IS) per la quantificazione degli analiti di interesse. Per tale quantificazione i fattori di risposta RF sono calcolati sull'area di uno o più ioni qualificatori rispetto all'area di uno specifico IS aggiunto ad ogni standard di calibrazione, bianco, campione QC e campione da analizzare.

Si utilizzano Surrogati (SR) per verificare il bias del metodo sulle diverse matrici (recupero).

La verifica della calibrazione iniziale ICV e continua CCV, LCS e MS e MSD vengo fatte utilizzando lo standard utilizzato per la calibrazione.

Idrocarburi Pesanti C>12 (C12 ÷ C40)

Metodo analitico: EPA 8015C/00 – GC/FID (Gascromatografo con rilevatore a Ionizzazione di fiamma)

Metodo di preparativa: EPA 3550B/96

Il campione viene miscelato con solfato di sodio e lasciato all'aria per una notte prima di essere estratto. Il campione è successivamente estratto con la tecnica ad ultrasuoni o P.F.E. (Pressurized

Fluid Extraction) e l'estratto è analizzato mediante gascromatografo con colonna capillare associato a un detector a ionizzazione di fiamma (Flame Ionization Detector - FID).

Idrocarburi Leggeri C<12

Metodo analitico: EPA 8015C/00 mod (Gasoline Range Organics (C6 ÷ C10) - GRO) – GC/MS (Gascromatografo con Spettrometro di massa)

Metodo di preparativa: EPA 5035/96

Questo metodo permette di individuare composti non-alogenati volatili e semi-volatili. La preparazione del campione è eseguita mediante Purge & Trap, un gas inerte (lo stesso gas usato per l'analisi) viene fatto gorgogliare (purge) attraverso il campione liquido dopo che questo è stato introdotto (senza essere aperto) in un apposito dispositivo (sparger) per trasferire i VOC in fase vapore. Il vapore viene fatto passare attraverso una colonna adsorbente dove i VOC vengono intrappolati. Dopo che la fase di purging è completata, la colonna adsorbente viene successivamente riscaldata per desorbire i composti adsorbiti che attraverso una transfer line giungono nella colonna capillare del gascromatografo (GC) con colonna capillare in silice dove vengono separati per poi essere rilevati singolarmente tramite spettrometro di massa (MS).

Idrocarburi totali

Metodo analitico: EPA 8440/96

Il metodo EPA 8440/96 modificato descrive la metodica di prova utilizzata per le analisi di idrocarburi in tracce in matrici solide (suoli, sedimenti, rifiuti, e matrici assimilabili) e matrici acquose (acque potabili, acque di falda e matrici assimilabili).

Il metodo fornisce un dato relativo ai TPH totali presenti nel campione (alifatici e aromatici): nei TPH totali non ricade però il completo contributo della frazione idrocarburica leggera che può venir persa durante i processi di estrazione e purificazione. Il metodo è utilizzabile sia per matrici liquide sia per matrici solide in funzione dell'effettivo interesse a valutare la presenza dei TPH totali.

Il principio del metodo: il campione estratto in un solvente che non contiene atomi di idrogeno e qualità adatta all'analisi in FTIR (i.e. R113) si rimuove l'acqua e i grassi e si quantifica l'estratto mediante spettrometria infrarossa a trasformata di Fourier (FTIR) alle lunghezze d'onda (2700 -3200 nm) corrispondenti alle energie del "bending" dei legami C-H alifatici e aromatici.

Il metodo può dare delle risposte diverse in funzione degli standard usati per la quantificazione. Il metodo prevede di default l'utilizzo di una miscela ternaria EPA (37,5 % n-esadecano + 37,5 %

isottano + 25 % clorobenzene), tuttavia si possono utilizzare come standard l' n-esano, il dodecano, il gasolio, l'olio motore.

PCB

Metodo analitico: EPA 8082

I PCB sono determinati come arochlor (cioè come miscela i.e. 1260 etc). Il metodo prevede una quantificazione dopo aver confrontato la distribuzione (profilo) dei PCB in miscela con quelli di standard. Questa tecnica serve per la valutazione della contaminazione da PCB generata da sversamento di oli di trasformatori, e pertanto non serve per la determinazione dei singoli congeneri (dioxin like e non). Per la determinazione dei congeneri occorre utilizzare un metodo in diluizione isotopica che si chiama EPA 1668 (simile come tecnica a quella per la determinazione delle diossine e furani: EPA 1613).

PCDD, PCDF

Metodo analitico: EPA 1613B/94

I metodi di prova EPA 1613 e 1668 sono eseguiti in conformità ai requisiti dei rispettivi metodi, in particolare di seguito sono esplicitati i dettagli relativi alle modalità di estrazione, clean up ed analisi.

Metodi di estrazione usati:

Accelerated Solvent Extraction SW 3545A per suoli sedimenti e matrici solide in genere; estrazione liquido - liquido per le acque SW 3510C.

Solventi usati: toluene, pesticide garde per suoli, sedimenti e matrici solide in genere; cloruro di metilene, toluene per le acque.

Condizioni di estrazione per il suoli:

riscaldamento cella 5 min, static time 5 min, flush volume 60%, purge time 60 sec, temperatura 120°C, pressione 2000 psi. Il ciclo viene ripetuto due volte.

Metodi di Clean up usati:

Per PCDD/F: acid/base clean up (quando necessario), GPC (quando necessario), purificazione su colonne di silice allumina e carbone, o in manuale o in automatico con sistemi quali Powerprep (TM).

Qualora i campioni contengano zolfo e non si usi la procedura di clean up mediante GPC, viene utilizzato il metodo di clean up per la rimozione dello zolfo SW 3660B.

Metodi di analisi

Sono utilizzati metodi di analisi con i descriptor come definiti dal metodo di prova specifico eseguendo sia la taratura sia tutte le analisi con lo stesso volume di iniezione (1 μ L).

3.3.2 Campioni geotecnici

Nel corso delle indagini ambientali sono state eseguite prove geotecniche volte alla determinazione di alcuni parametri intrinseci del terreno presente nell'area in oggetto, per un totale di 15 campioni di terreno.

I campioni, sempre costituiti di materiale coesivo, sono stati prelevati da punti di indagine differenti, a profondità variabili fra 6,20 e 11,70 m dal piano campagna, ciascuno caratterizzato da uno spessore di 0,50 m di terreno.

Essi sono stati sottoposti alle seguenti prove:

- Apertura e descrizione;
- Peso di volume;
- Umidità naturali;
- Limiti di Atterberg;
- Granulometria e areometria.

3.3.3 Acque di falda, acque di processo

Secondo quanto previsto dal Piano di Caratterizzazione e dalle prescrizioni richieste durante la Conferenza dei Servizi Istruttoria del 25/07/2002, svoltasi presso il Ministero dell'Ambiente, i campioni di acqua di falda superficiale e profonda prelevati durante le campagne di monitoraggio, ed i campioni prelevati dal circuito di raffreddamento delle centrali CET2 e CET3 (03/06/04) sono stati analizzati per la determinazione dei seguenti parametri analitici:

- Torbidità
- PH

-
- Conducibilità
 - Alcalinità
 - Ammonio
 - Cloruri
 - Nitrati
 - Calcio
 - Potassio
 - Magnesio
 - Sodio
 - Durezza totale
 - Residuo fisso
 - Colibatteri totali
 - Alluminio
 - Arsenico
 - Cadmio
 - Cobalto
 - Cromo Totale
 - Cromo VI
 - Ferro
 - Mercurio
 - Nichel
 - Piombo
 - Rame
 - Manganese
 - Zinco
 - Cianuri liberi
 - Nitriti
 - Solfati
 - Benzene
 - Etilbenzene
 - Toluene
 - Para – Xilene
 - Fenoli totali
 - Sommatoria fitofarmaci
 - Sommatoria PCDD, PCDF
 - PCB
 - Idrocarburi petroliferi (espressi come n-esano)
 - Amianto (fibre A>10 mm)
 - IPA

- Vanadio

In totale sono stati analizzati i seguenti campioni:

- N° 42 campioni di acque di falda superficiale (tre campagne di monitoraggio);
- N° 9 campioni di acque di falda profonda (tre campagne di monitoraggio);
- N° 5 campioni di acque prelevati da circuiti di raffreddamento.

Le metodiche analitiche utilizzate per la determinazione dei parametri indagati sono riassunte nella seguente tabella:

Tabella 3.5: Parametri analizzati nei campioni di acqua di falda e metodi analitici utilizzati dal laboratorio	
Parametro analizzato	Metodo analitico
Torbidità	IRSA Q 100 2120/94
PH	IRSA Q 100 2080/94
Conducibilità	IRSA Q 100 2030/94
Alcalinità	IRSA Q 100 2010B/98M
Ammonio	EPA 9056/94
Cloruri	EPA 9056/94
Nitrati	EPA 9056/94
Calcio	EPA 6010B/96
Potassio	EPA 6010B/96
Magnesio	EPA 6010B/96
Sodio	EPA 6010B/96
Durezza totale	IRSA Q 100 2040/94
Residuo fisso	APHA 2540/92
Colibatteri totali	IRSA Q 100 7010B/94
Alluminio	EPA 6020/94
Arsenico	EPA 6020/94
Cadmio	EPA 6020/94
Cobalto	EPA 6020/94
Cromo Totale	EPA 6020/94
Cromo VI	EPA 7199/96
Ferro	EPA 6020/94
Mercurio	EPA 6020/94
Nichel	EPA 6020/94

Tabella 3.5: Parametri analizzati nei campioni di acqua di falda e metodi analitici utilizzati dal laboratorio

Parametro analizzato	Metodo analitico
Piombo	EPA 6020/94
Rame	EPA 6020/94
Manganese	EPA 6020/94
Zinco	EPA 6020/94
Cianuri liberi	EPA 9014/96
Nitriti	EPA 9056/94
Solfati	EPA 9056/94
Benzene	EPA 8260B/94
Etilbenzene	EPA 8260B/94
Toluene	EPA 8260B/94
Para – Xilene	EPA 8260B/94
Fenoli totali	EPA 8270C/94
Sommatoria fitofarmaci	EPA 8270C/94
Sommatoria PCDD, PCDF	EPA 1613B/94
PCB	EPA 8082/96
Amianto (fibre A>10 mm)	D.M. 6/9/94 All.2
IPA	EPA 8270C/94
Vanadio	EPA 6020/94
Idrocarburi Petroliferi (espressi come n-esano)	EPA 8440/96

Le analisi delle diossine sono state eseguite con metodo ad alta risoluzione HRGC/HRMS US – EPA.

Di seguito si presenta un sommario dei metodi analitici utilizzati per la ricerca dei parametri più significativi.

Metalli

Metodo analitico: EPA SW 6020A/98 – ICP-MS (Plasma ad accoppiamento indotto con Spettrometro di Massa)

Metodo di preparativa del campione: EPA 3005A/92

Principio del metodo: Dopo la preparazione del campione, attraverso una digestione acida in microonde, il campione liquido così formato è nebulizzato e trasportato da un carrier (Argon) in una

torcia al plasma, gli ioni che si formano (dai rispettivi metalli) sono introdotti in uno spettrometro di massa che determina i rispettivi quantitativi grazie ad un elettromoltiplicatore.

Acque

Sul filtrato: 50 mL di campione vengono filtrati su 0,45 μm ; il filtrato viene acidificato con HNO_3 (10 gocce) a freddo e trasferito in provetta per autocampionatore ICP-MS (15 ml). Prima dell'analisi viene aggiunta 1 goccia di soluzione di oro (conc 1000 ppm).

N.B. se dopo la filtrazione si nota la formazione di precipitato (sia che si tratti di filtrazione al momento del prelievo o in Laboratorio) il campione viene trattato come per l'analisi sul totale secondo metodo EPA 3005A/92.

Sul totale: il campione viene agitato tre volte vigorosamente; 50 ml di campione vengono trasferiti in una provetta con 2 ml di HNO_3 ; il campione viene mineralizzato in apposito fornello, fatto raffreddare; e portato a 50 ml e filtrato in provetta per autocampionatore ICP-MS (15 ml). Prima dell'analisi viene aggiunta 1 goccia di soluzione di oro (conc 1000 ppm) - preparativa secondo EPA 3005A/92.

Sul decantato: il campione viene fatto decantare; il decantato viene acidificato con HNO_3 (10 gocce) a freddo e trasferito in provetta per autocampionatore ICP-MS (15 ml). Prima dell'analisi viene aggiunta 1 goccia di soluzione di oro (conc 1000 ppm). Se nel campione dopo la decantazione risulta ancora presente del materiale in sospensione il campione viene trattato come per l'analisi sul totale secondo metodo EPA 3005A/92.

Sul centrifugato: il campione viene centrifugato; il centrifugato viene acidificato con HNO_3 (10 gocce) a freddo e trasferito in provetta per autocampionatore ICPMS (15 ml). Prima dell'analisi viene aggiunta 1 goccia di soluzione di oro (conc 1000 ppm). Se nel campione dopo la centrifugazione risulta ancora presente del materiale in sospensione il campione viene trattato come per l'analisi sul totale secondo metodo EPA 3005A/92.

Cromo VI

Metodo analitico: EPA 7199/96 - IC (Cromatografia Ionica)

Metodo di preparativa del campione: EPA 7199/96

Il campione viene filtrato a 0,45 μm , sul filtrato ottenuto viene eseguito un aggiustamento del pH fino a $9 \div 9.5$ con una soluzione tampone. Un volume definito di campione (50-250 μL) è introdotto nel cromatografo ionico. Inizialmente è utilizzata una colonna di sicurezza per rimuovere le sostanze organiche prima che il Cr VI (come CrO_4^{2-}) sia separato grazie alla colonna di scambio anionico. Nel

post-colonna il Cr VI è derivatizzato in continuo con della difenilcarbazide che è rilevata tramite rilevatore spettrofotometrico (UV-VIS) alla lunghezza d'onda di 350 nm.

Composti alogenati volatili (Clorurati) e composti alifatici, aromatici, chetonici, esteri ed eteri volatili (VOCs)

Metodo analitico: EPA 8270C/94 – GC/MS (Gascromatografo con Spettrometro di massa)

Metodo di preparativa del campione: EPA 5030B/96

Principio del metodo: un gas inerte (lo stesso gas usato per l'analisi – di solito Argon) viene fatto gorgogliare (purge) attraverso il campione liquido dopo che questo è stato introdotto (senza essere aperto) in un apposito dispositivo (sparger) per trasferire i VOCs in fase vapore. Il vapore viene fatto passare attraverso una colonna adsorbente dove i VOCs vengono intrappolati. Dopo che la fase di purging è completata, la colonna adsorbente viene riscaldata e riflussata con il gas inerte e i VOCs giungono, attraverso una transfer line, nella colonna capillare del gascromatografo (GC), dove vengono separati per poi essere rilevati singolarmente tramite spettrometro di massa (MS).

Idrocarburi Petroliferi (espressi come n-esano)

Metodo analitico: EPA 8440/96 – FT-IR (Spettrofotometro IR a Trasformata di Fourier)

Il campione viene acidificato a pH 2 circa ed estratto in freon (R 113) (1 l di campione è estratto con 10 ml di freon), agitando vigorosamente ed avendo cura di lavare il contenitore del campione con il solvente per l'estrazione. Il campione viene quantificato in FT-IR dopo essere stato passato su florisil (rimozione di grassi ed altri interferenti) e sodio solfato (rimozione dell'acqua).

Principio del metodo: il campione è estratto in un solvente che non contiene atomi di idrogeno e di qualità adatta all'analisi in FT-IR (i.e. R113) grazie a ciò sono rimossi l'acqua ed i grassi e si quantifica l'estratto mediante spettrometria infrarossa a trasformata di Fourier (FT-IR) alle lunghezza d'onda (2700 -3200 nm) corrispondenti alle energie del "bending" dei legami C-H alifatici ed aromatici.

Solfati

Metodo analitico: EPA 9056/94 – IC (Cromatografia Ionica)

Il metodo è utilizzato per la determinazione degli anioni quali cloruri (Cl⁻), fluoruri (F⁻), bromuri (Br⁻), nitrati (NO₃⁻), nitriti (NO₂⁻), fosfati (PO₄³⁻) e solfati (SO₄²⁻).

Un piccolo volume del campione in soluzione acquosa, in genere 2 - 3 ml, è iniettato in un cromatografo ionico contenente una resina basica di scambio anionico. Il campione è iniettato grazie ad un flusso di eluente (carbonato-bicarbonato); gli anioni sono separati in base alla differente affinità per i siti attivi della resina; successivamente viene ridotta gradualmente la conduttività dell'eluente che rimobilizza gli ioni e li converte nella loro forma acida, gli anioni così eluiti sono rilevati grazie ad una cella conduttimetrica. I differenti anioni sono identificati in base ai loro rispettivi tempi di eluizione caratteristici, la quantificazione degli ioni è ricavata mediante il calcolo dell'area dei picchi confrontati con la curva di calibrazione generata grazie agli standard analitici.

PCB

Metodo analitico: EPA 8082

I PCB sono determinati come arochlor (cioè come miscela i.e. 1260 etc). Il metodo prevede una quantificazione dopo aver confrontato la distribuzione (profilo) dei PCB in miscela con quelli di standard. Questa tecnica serve per la valutazione della contaminazione da PCB generata da sversamento di oli di trasformatori, e pertanto non serve per la determinazione dei singoli congeneri (dioxin like e non). Per la determinazione dei congeneri occorre utilizzare un metodo in diluizione isotopica che si chiama EPA 1668 (simile come tecnica a quella per la determinazione delle diossine e furani: EPA 1613).

PCDD, PCDF

Metodo analitico: EPA 1613B/94

I metodi di prova EPA 1613 e 1668 sono eseguiti in conformità ai requisiti dei rispettivi metodi, in particolare di seguito sono esplicitati i dettagli relativi alle modalità di estrazione, clean up ed analisi.

Metodi di estrazione usati:

Accelerated Solvent Extraction SW 3545A per suoli sedimenti e matrici solide in genere; estrazione liquido - liquido per le acque SW 3510C.

Solventi usati: toluene, pesticide garde per suoli, sedimenti e matrici solide in genere; cloruro di metilene, toluene per le acque.

Metodi di analisi

Sono utilizzati metodi di analisi con i descriptor come definiti dal metodo di prova specifico eseguendo sia la taratura sia tutte le analisi con lo stesso volume di iniezione (1 µL).

3.4 Sistemi di controllo qualità

Le attività di campionamento delle differenti matrici ambientali (terreni, sedimenti, acque di falda) sono state condotte con particolare riguardo alle procedure di controllo e assicurazione della qualità (QA/QC Quality Assurance/QualityControl). Tali procedure hanno lo scopo di assicurare che i dati raccolti nel corso delle attività di indagine siano tecnicamente accurati, adeguatamente documentati e in accordo con i requisiti di qualità del progetto.

Questa sezione presenta un sommario delle procedure e dei controlli di campo che sono stati utilizzati al fine di assicurare la qualità dei dati di campo della presente Indagine di Caratterizzazione Ambientale.

Procedure di campionamento

I campioni sono stati raccolti utilizzando le procedure standard di riferimento. L'applicazione puntuale ed omogenea/coerente di tali procedure permette di preservare le caratteristiche delle matrici ambientali campionate e, conseguentemente, di prelevare campioni realmente rappresentativi delle diverse aree oggetto di indagine.

Procedure di decontaminazione

Un aspetto molto importante del protocollo di controllo qualità di ENSR (Quality Assurance/QualityControl) è rappresentato dalla procedura di pulizia/decontaminazione. Tutti gli strumenti/utensili utilizzati sono stati decontaminati dopo ogni campionamento e prima del successivo, usando una idropulitrice a vapore o la seguente procedura:

1. lavaggio con Alconox TM o detergenti simili in soluzione;
2. risciacquo con acqua di rubinetto;
3. risciacquo con acqua distillata o deionizzata.

Tutte le attrezzature usate per la realizzazione dei sondaggi e dei piezometri e delle attività di spurgo sono state decontaminate prima di ogni perforazione e/o spurgo e/o campionamento.

Diario di campo

Tutte le attività di campo sono state accuratamente registrate su appositi diari di campo a cura del personale ENSR. Le informazioni sono state registrate nel maggior dettaglio possibile. Le informazioni

sono state registrate usando un linguaggio oggettivo, descrittivo dei fatti e scevro da opinioni personali. Ipotesi su fenomeni osservati possono essere riportate ma sono chiaramente evidenziate come tali.

Procedure di documentazione e custodia dei campioni

Nel corso delle operazioni di campo, dopo aver riposto accuratamente i campioni di acqua e di terreno all'interno degli specifici contenitori, il personale di campo ha proceduto alla loro identificazione e etichettatura. Su ogni contenitore è stata apposta un'etichetta dove sono stati riportati con inchiostro indelebile i seguenti dati:

- identificazione del sito di indagine;
- nome e numero del progetto;
- numero del sondaggio/piezometro o codice identificativo del punto di prelievo;
- data e ora di prelievo del campione;
- profondità di prelievo del campione;
- nome del responsabile di campionamento.

Per ogni gruppo di campioni è stata compilata una Scheda di Custodia (Chain of Custody) dove sono state registrate in modo accurato tutte le informazioni relative ad ogni campione dal momento del prelievo fino alla spedizione al laboratorio.

Per ogni campione sulla scheda di accompagnamento sono stati riportati i seguenti dati:

- Numero sequenziale/codice del campione del campione;
- Data del campionamento;
- Orario del campionamento;
- Matrice campionata (terreni o acqua);
- Localizzazione del campione e profondità di prelievo (per i campioni di terreno);
- Analisi da effettuare;

- Eventuali note specifiche per il laboratorio.

Sulla Catena di Custodia, che ha accompagnato i campioni in tutte le fasi di trasporto e spedizione, hanno apposto la propria firma tutte le persone alle quali, lungo il percorso, sono stati affidati i campioni.

La procedura di custodia dei campioni comincia in campo con le attività di prelievo e prosegue con l'etichettatura univoca di ciascun contenitore, con la compilazione della Scheda di Custodia e con la preparazione e l'imballaggio dei campioni per la spedizione.

Su ogni contenitore termico utilizzato per la spedizione, è stata applicata una etichetta/sigillo adesiva (Custody Seal), compilata preventivamente con la data e la firma del personale di campo, in posizione tale che qualora il contenitore venisse aperto il sigillo verrebbe rotto.

Il laboratorio di analisi ha documentato sul "modulo di ricevimento campioni" le condizioni generali dei campioni (temperatura, stato dei campioni, etc.) al momento della ricezione dei campioni.

Procedure di imballaggio, conservazione e spedizione dei campioni

Al termine delle operazioni di preparazione dei campioni, i contenitori sono stati etichettati, dopo aver preventivamente ripulito la parte esterna da eventuali materiali residui. I contenitori sono stati quindi riposti in sacchetti di plastica richiudibili con l'etichetta ben visibile, e sistemati, unitamente a polistirolo espanso o materiale simile per evitare danneggiamenti, in contenitori termici per la spedizione. Al fine di mantenere la temperatura dei campioni attorno a 4 °C, in ogni contenitore termico sono stati riposti materiali refrigeranti.

I campioni sono stati spediti al laboratorio di analisi mediante un corriere espresso. La catena di custodia è stata trasmessa al laboratorio unitamente ai campioni.

Controlli di qualità di campo

Tutti gli strumenti di misurazione utilizzati in campo (misuratori di pH, conducibilità, potenziale red-ox, etc.) sono stati calibrati giornalmente prima dell'inizio delle attività di indagine/misurazione.

Riduzione e convalida dei dati

I dati raccolti nel corso delle attività in oggetto, sono stati rivisti e verificati prima di essere inseriti nel rapporto tecnico, segnalando in modo opportuno qualsiasi tipo di anomalia riscontrata nella fase di prelievo o di preparazione o di analisi dei campioni.

La convalida dei dati consiste nella revisione degli stessi rispetto a una serie di criteri al fine di identificare possibili errori e qualificarli preventivamente al loro utilizzo. Le tecniche di convalida permettono di accettare, scartare o comunque dare una valutazione sulla qualità dei dati sulla base di procedure e criteri standardizzati e stabiliti all'inizio del lavoro.

E' stato verificato che:

- tutte le analisi richieste siano state eseguite/completate;
- i campioni siano stati ricevuti al laboratorio in condizioni adeguate;
- le analisi siano state eseguite entro i tempi previsti (holding times);
- le analisi siano state eseguite con metodologie e limiti di rilevamento analitico comparabili e congruenti.

4.0 RISULTATI

Nel presente capitolo si riporta un sommario dei risultati delle indagini effettuate da ENSR Italia S.r.l. all'interno dello stabilimento ISE di Taranto. La struttura del capitolo 4.0 si articola nelle seguenti sezioni:

Paragrafo 4.1: in questa sezione vengono riportati e commentati i risultati delle analisi chimiche dei campioni di terreno, fanghi e top soil;

Paragrafo 4.2: in questa sezione vengono riportati e commentati i risultati delle analisi geotecniche effettuate sui campioni argillosi di terreno;

Paragrafo 4.3: in questa sezione vengono riportati e commentati i risultati delle analisi chimiche dei campioni di acqua di falda superficiale (Paragrafo 4.3.1) e profonda (Paragrafo 4.3.2);

Paragrafo 4.4: in questa sezione si commentano i risultati e le modalità di calcolo per la determinazione del coefficiente di permeabilità ottenuto a seguito delle prove di risalita;

Paragrafo 4.5: in questa sezione vengono riportati e commentati i risultati relativi alle misure piezometriche effettuate sul sito;

Paragrafo 4.6: in questa sezione vengono riportati e commentati i risultati delle analisi chimiche dei campioni di acqua prelevati dal ciclo di raffreddamento delle centrali CET 2 e CET 3.

4.1 Terreni, fanghi e top soil

Terreni

Come prescritto dalla normativa italiana di riferimento in materia ambientale, le concentrazioni dei parametri analizzati per i campioni di terreno sono state confrontate con quelle riportate in Allegato 1, Colonna B al D.M. n.471/99.

I risultati dell'analisi dei campioni di terreno hanno evidenziato concentrazioni eccedenti i limiti normativi per i seguenti parametri in n. 8 campioni di terreno analizzati:

- Rame
- Idrocarburi Pesanti (C>12)
- Idrocarburi Totali (TPH)

Per quanto riguarda il parametro Idrocarburi Totali, non normato dal D.M. n. 471/99, è stato utilizzato, a scopo cautelativo, lo stesso limite di riferimento previsto per gli Idrocarburi pesanti C>12 (750 mg/kg). Si sottolinea tuttavia che l'analisi di tale parametro ha lo scopo di fornire informazioni puramente qualitative sulla presenza di idrocarburi nella matrice indagata.

L'ubicazione dei punti di campionamento dei terreni ed una sintesi dei risultati analitici superiori ai limiti stabiliti dal D.M. 471/99 per siti ad uso commerciale/industriale è riportata in Tavola 5.

In Tabella 4.1 si riporta una sintesi dei risultati che presentano superamenti dei limiti normativi rilevati nei campioni di terreno analizzati.

Tabella 4.1: Concentrazioni analitiche superiori ai limiti D.M. 471/99 per siti ad uso commerciale - industriale rilevate nei campioni di terreno prelevati durante la campagna di Febbraio - Marzo 2004			
Analiti	Rame	Idrocarburi Pesanti >C12 (C12÷C40)	Idrocarburi Totali (TPH)
Limiti D.M. 471/99	600	750	750
Unità di misura	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
Punti di campionamento e intervallo di profondità (metri-centimetri) da p.c.			
P02s_07-00_08-00	19,9	842	2230
P03s_00-80_01-00	12,1	1310	2240
P04s_00-80_01-00	13,3	133	3000
S01_00-80_01-00	20,5	1270	2500
S01_04-00_05-00	152	426	1200
S02_04-00_05-00	3,16	281	827
S06_00-80_01-00	636	149	53,8
S08_00-80_01-00	4,79	2260	1080

Come evidenziato in tabella, la quasi totalità dei campioni contenenti idrocarburi in concentrazioni superiori ai limiti normativi, è relativa ai primi metri di profondità da p.c., mostrando uno stato di contaminazione relativamente sub-superficiale. Solo il sondaggio P02S mostra valori di concentrazione di Idrocarburi pesanti superiori al limite normativo per il campione di terreno compreso tra 7 ed 8 m da p.c. Al fine di definire con maggiore precisione l'estensione verticalmente della contaminazione, sono stati analizzati i campioni di terreno al di sopra ed al di sotto di tale livello (campioni relativi al 6 - 7 m e 8 - 8,5 m da p.c). Le concentrazioni rilevate, in entrambi i casi inferiori al limite di rilevabilità strumentale, hanno permesso di confinare il valore anomalo alle sole quote relative al campione contenente Idrocarburi, in modo tale da escludere un apporto proveniente dalla superficie.

I sondaggi S01 ed S02, ubicati nei pressi dei serbatoi di “stoccaggio oli combustibili” della centrale CET2, mostrano superamenti del limite di riferimento per il parametro Idrocarburi Totali anche tra 4,0 e 5,0 m da p.c. Inoltre, il sondaggio S01 mostra un superamento superficiale, tra 0,8 e 1,0 m da p.c., sia per gli Idrocarburi Totali che per gli Idrocarburi pesanti (C>12).

I punti di sondaggio P03s e S08, che risultano ubicati nella zona sud della centrale CET3, mostrano superamenti dei limiti di riferimento per Idrocarburi Pesanti (C>12) e Totali tra 0,8 e 1,0 m e tra 4,0 e 5,0 m da p.c. Tali superamenti, riscontrati prevalentemente in orizzonti di terreno costituiti da materiale di riporto, non risultano, sulla base dei dati ad oggi disponibili, direttamente collegabili ad alcuna attività esistente esercitata in centrale.

Sulla base dei risultati analitici della campagna d’indagini di Febbraio – Marzo 2004, la contaminazione da idrocarburi pesanti risulta quindi limitata superficialmente ad alcune aree di hot spot della centrale, e non interessa in maniera diffusa il sottosuolo della stessa. Nelle Tavole 6 e 7 si riportano in forma grafica le distribuzioni dei contaminanti Idrocarburi pesanti (C>12) e Idrocarburi Totali all’interno del sito, estrapolate dai risultati analitici riscontrati nel sottosuolo dell’area d’indagine.

A seguito delle analisi per la ricerca dei metalli pesanti in tutti i terreni analizzati, solamente il campione prelevato in S06, nei pressi della centrale termica di CET3, ha mostrato valori lievemente superiori al limite per il parametro Rame (si veda la Tavola 8). Anche in questo caso, la quota di campionamento risulta confinata entro il primo metro di profondità; nei campioni di terreno più profondi relativi allo stesso punto di indagine le concentrazioni di Rame risultano inferiori ai limiti normativi. Tale dato ha un carattere preliminare e mostra, come accennato, un valore puntuale ed estremamente limitato di contaminazione, identificato in una matrice di terreno eterogenea costituita da materiale di riporto.

I certificati analitici dei campioni di terreno analizzati sono riportati in Allegato 5.

Fanghi e campioni di suolo superficiali (Top Soil)

Al fine di caratterizzare accuratamente tutte le matrici ambientali dell’area dello stabilimento, sono stati prelevati ed analizzati n. 5 campioni di suolo superficiale (*Top Soil*), e n. 5 campioni di fanghi sedimentati all’interno delle canaline di deflusso delle acque meteoriche.

I campioni di *top soil*, rappresentativi dei primi 20 cm di terreno, sono stati prelevati dalle aree non pavimentate interne all’interno del comprensorio (si veda l’ubicazione in Tavola 3) al fine di indagare eventuali meccanismi di deposizione al suolo di contaminanti atmosferici. I risultati analitici non hanno evidenziato nei campioni di *top soil* alcun superamento dei limiti normativi per tutte le sostanze analizzate.

Relativamente ai campioni di fanghi delle canaline, è stata rilevata la presenza di alcuni composti di interesse ambientale in concentrazioni di attenzione. A scopo indicativo, la concentrazione di tali

composti è stata riferita ai limiti previsti per i terreni ad uso industriale dall'Allegato 1 al D.M. 471/99, "colonna B", non esistendo una normativa specifica di riferimento in materia.

In relazione a tali limiti sono state evidenziate concentrazioni superiori ai parametri di riferimento per Idrocarburi Pesanti (C>12) e Totali. Tali composti, tuttavia, presentano valori dello stesso ordine di grandezza dei limiti previsti dal D.M. 471/99.

Si riporta in Tabella 4.2 una sintesi dei risultati per i terreni di *top soil* e di fanghi analizzati.

Tabella 4.2: Risultati analitici dei campioni di fanghi delle canaline di deflusso delle acque meteoriche (FN) e di <i>top soil</i> (TS) riferiti ai limiti del D.M. 471/99 per siti ad uso commerciale-industriale prelevati durante la campagna di Febbraio - Marzo 2004		
Analiti	Idrocarburi Pesanti >C12 (C12÷C40)	Idrocarburi Totali (TPH)
Limiti D.M. 471/99	750	750
Unità di misura	mg/Kg	mg/Kg
Punti di campionamento e intervallo di profondità (metri-centimetri)		
FN01	227	251
FN02	371	937
FN03	408	191
FN04	122	195
FN05	1030	1990
TS01_00-00_00-20	<2,58	58,5
TS02_00-00_00-20	49,5	56,9
TS03_00-00_00-20	<2,96	7,38
TS04_00-00_00-20	<3,09	19,5
TS05_00-00_00-20	4,12	12,1

I certificati analitici dei campioni di fanghi analizzati sono riportati in Allegato 6.

4.2 Campioni geotecnici

I risultati completi delle prove fisiche e geotecniche di laboratorio sono riportati in Allegato 7. Nelle seguenti tabelle sono invece riassunte le caratteristiche principali dei campioni esaminati.

Tabella 4.3: Tabella di sintesi delle principali caratteristiche fisiche rilevate nei campioni di terreno analizzati.

	S01 9.0-9.5 m	S02 9.0-9.5 m	S03 7.0-7.5 m	S04 8.0-8.5 m	S05 9.0-9.5 m
	argilla grassa con tracce di sabbia, nocciola olivastro chiaro	argilla grassa, nocciola olivastro	limo elastico con ghiaia, nocciola	limo, nocciola olivastro chiaro	argilla magra, nocciola
G_s	2,643	2,579	2,575	2,625	2,639
LL	63,374	56,228	69,104	29,96	31,356
LP	30,857	25,353	49,63	24,405	23,886
IP=LL-LP	32,517	30,875	19,474	5,551	7,47
γ_s	16,177	14,133	15,126	16,188	15,621
e	0,603	0,79	0,67	0,616	0,683
n	37,599%	44,119%	40,111%	38,125%	40,579%
	Plastico	Plastico	Plastico	Poco plastico	Poco plastico

	S06 7.5-8.0 m	S07 10.0-10.7 m	S08 9.0-9.5 m	S09 9.0-9.5 m	S10 9.0-9.5 m
	limo elastico con rari ciottoli del diam max di 20 mm, verde oliva chiaro	limo elastico con tracce di sabbia, nocciola	limo con tracce di argilla, verde oliva chiaro	limo elastico, verde oliva chiaro	limo elastico con tracce di sabbia, marrone olivastro chiaro
G_s	2,707	2,774	2,722	2,585	2,735
LL	75,69	79,41	47,168	77,722	77,671
LP	45,2	40,698	28,315	30,103	27,996
IP=LL-LP	30,486	38,714	18,853	47,619	49,675
γ_s	14,729	14,287	14,555	13,309	13,134
e	0,802	0,904	0,834	0,905	1,042
n	44,518%	47,476%	45,480%	47,507%	51,026
	Plastico	Plastico	Plastico	Molto plastico	Molto plastico

	S11 10.0-10.5 m	S12 9.0-9.5 m	P01S 6.2-6.7 m	P03S 11.2-11.7 m	P04S 7.5-8.0 m
	limo elastico con tracce di sabbia, verde oliva chiaro	limo elastico con tracce di sabbia, nocciola	limo elastico nocciola scuro	argilla grassa con sabbia, giallo pallido	limo elastico con ghiaia e sabbia in tracce, verde oliva
G_s	2,576	2,734	2,71	2,619	2,717
LL	86,173	76,644	77,385	51,62	54,664
LP	40,938	45,668	43,968	24,462	41,172
IP=LL-LP	45,235	30,976	33,417	27,158	13,492
γ_s	14,705	8,049	14,208	14,698	16,472
e	0,718	2,331	0,871	0,747	0,618
n	41,801%	69,981%	46,548%	42,773%	38,178%
	Molto plastico	Plastico	Plastico	Plastico	Poco plastico

Dove:

G_s = Gravità specifica, calcolata come rapporto fra il peso specifico del terreno secco e il peso specifico dell'acqua. Tale valore generalmente varia fra 2.6 e 2.7

LL = Limite Liquido: è definito come il contenuto di umidità che separa lo stato liquido dallo stato plastico

LP = Limite Plastico: è definito come il contenuto di acqua che separa lo stato plastico dallo stato solido.

IP = Indice di Plasticità: e' definito come la differenza fra LL e LP.

γ_s= Peso specifico del terreno secco

e = Indice dei vuoti: è definito come il rapporto fra il volume dei vuoti presenti nel terreno (volume dell'acque e volume dell'aria) e il volume della frazione solida

n = Porosità: è definita come il rapporto fra il volume dei vuoti presenti nel terreno (volume dell'acque e volume dell'aria) e il volume totale

I materiali coesivi modificano le proprie caratteristiche fisiche in relazione al contenuto di acqua. I contenuti d'acqua nei quali avvengono tali modificazioni sono stati definiti limiti di consistenza o di Atterberg (Limite Liquido, Limite Plastico e Limite di Ritiro), e servono per valutare le caratteristiche di plasticità di un terreno (IP). In funzione di IP, un materiale coesivo può essere definito più o meno plastico. In particolare:

0 < IP < 5	non plastico
5 < IP < 15	poco plastico
15 < IP < 40	plastico
IP > 40	molto plastico

4.3 Acque di falda

La normativa italiana di riferimento in materia ambientale prevede il confronto dei parametri chimici delle acque sotterranee con i limiti riportati in Tabella 2, Allegato 1 del D.M. 471/99.

Si riportano in Allegato 8, i certificati analitici di laboratorio per i campioni di acque di falda analizzati, relativi alle tre campagne di monitoraggio ad oggi eseguite. Una visualizzazione grafica dei risultati

analitici superiori ai limiti previsti dal D.M. 471/99 riscontrati nelle campagne di monitoraggio del 30/03/2004, 17/06/2004 e 27/09/2004 è riportata rispettivamente nelle Tavole 9, 10 e 11.

4.3.1 Falda superficiale

La tabella seguente riassume i parametri che hanno evidenziato concentrazioni superiori ai limiti normativi nei campioni di acqua di falda superficiale prelevati durante le campagne di monitoraggio del 30/03/2004, 17/06/2004 e 27/09/2004:

Tabella 4.4: Parametri superiori al limite stabilito dal D.M. 471/99 rilevati nella falda superficiale durante le tre campagne di monitoraggio effettuate.

Campagna di monitoraggio della falda superficiale del 30/03/2004 – 07/04/2004	Campagna di monitoraggio della falda superficiale del 17/06/2004 – 23/06/2004	Campagna di monitoraggio della falda superficiale del 27/09/2004 – 04/10/2004
alluminio	alluminio	alluminio
arsenico	arsenico	arsenico
cobalto	cobalto	
cromo totale	cromo totale	
cromo (VI)		
ferro	ferro	ferro
manganese	manganese	manganese
nichel	nichel	nichel
piombo	piombo	piombo
cianuri	cianuri	cianuri
		nitriti
solforati	solforati	solforati
benzene	benzene	
benzo[a]pirene	benzo[a]pirene	
benzo[g,h,i]perilene	benzo[g,h,i]perilene	
dibenzo[a,h]antracene		
	pentaclorofenolo	
PCDD e PCDF (conversione T.E.)	PCDD e PCDF (conversione T.E.)	PCDD e PCDF (conversione T.E.)
PCB	PCB	PCB
	idrocarburi totali	

In Allegato 9, si riassumono i risultati riscontrati durante le tre sessioni di monitoraggio, con particolare riferimento ai parametri eccedenti i limiti di legge.

Le analisi hanno inoltre rilevato valori significativi dei seguenti parametri, non normati dal D.M. 471/99:

Anioni

- nitrati
- cloruri

Metalli

- calcio
- magnesio
- potassio
- sodio

Le concentrazioni di cloruri, comprese tra 131.000 e 12.100.000 µg/l, classificano le acque prelevate dalla falda superficiale come “acque saline” (tenori in $Cl^- > 1.000.000$ µg /l).

Un’analisi più approfondita delle concentrazioni di ioni disciolti e del contenuto salino della falda superficiale è riportata al paragrafo 5.1.3.3.

E’ da segnalare la presenza in concentrazioni significative di coliformi totali, anch’essi non normati dal D.M. 471/99.

In generale, dal confronto tra la distribuzione dei contaminanti elaborata sulla base dei dati di campionamento superficiale con bailer e quella elaborata sulla base dei dati di campionamento profondo con pompa sommersa, si osservano sensibili variazioni, in tutte le campagne di monitoraggio eseguite. Solo nel caso di pochi parametri si ha una distribuzione simile nelle due raffigurazioni.

In particolare si osserva che nel caso di alcuni parametri (per esempio PCDD e PCDF, Piombo, Alluminio, Nichel) si hanno generalmente concentrazioni maggiori nel campionamento delle acque superficiale con bailer, rispetto al campionamento profondo con pompa sommersa. In pochi casi si realizza il contrario, ovvero si ha una concentrazione nel campionamento superficiale che risulta inferiore di quella del campionamento profondo. Le due concentrazioni risultano simili nel caso di PCB e Cianuri. In alcuni casi, infine, si hanno variazioni della concentrazione tra i due tipi di campionamento da punto a punto, portando quindi ad avere in alcuni punti una concentrazione maggiore ed in altri punti minore rispetto al campionamento profondo.

La distribuzione verticale dei parametri analizzati all’interno della colonna d’acqua non sembra quindi direttamente correlata con le caratteristiche chimico – fisiche dei parametri stessi (peso molecolare, solubilità, tensione di vapore ecc.), che possono portare i composti ad avere una maggiore o minore

tendenza ad entrare in soluzione acquosa, ad adsorbirsi al particolato sospeso o a distribuirsi principalmente nella parte superiore o inferiore della colonna d'acqua. Tale distribuzione può essere certamente influenzata anche dal differente metodo di campionamento (bailer/pompa sommersa); dai dati disponibili non risulta quindi possibile tracciare una distribuzione verticale coerente della contaminazione all'interno dell'acquifero superficiale.

Considerando ora solo la distribuzione areale dei contaminanti, si possono effettuare le osservazioni di seguito riportate.

In generale, l'andamento della contaminazione nel tempo si presenta abbastanza costante. I valori derivanti dalle tre sessioni di monitoraggio effettuate non mostrano significative variazioni delle classi di contaminanti presenti nell'acquifero; sono state riscontrate invece significative differenze di concentrazione dei parametri analizzati nel tempo, come di seguito specificato:

- Presenza di concentrazioni di Nitriti superiori al limite stabilito dal D.M. 471/99 rilevate nella sola campagna di monitoraggio del 27/09/2004, nei seguenti punti di monitoraggio: S04, S07, S08, S10, S11;
- Significativa diminuzione della concentrazione di metalli rilevata nella campagna di monitoraggio del 27/09/2004, generata dall'applicazione di un differente metodo di preparativa dei campioni approntato dal laboratorio analitico, analogo a quello adottato da ARPA Taranto;
- Presenza in un singolo campione (S04_03-50) di una concentrazione di Cromo VI leggermente superiore al limite stabilito dal D.M. 471/99 nella sola campagna di monitoraggio del 30/03/2004, non più riscontrata nelle campagne di monitoraggio successive;
- Presenza in un singolo campione (S10_05-00) di una concentrazione di Idrocarburi Totali leggermente superiore al limite stabilito dal D.M. 471/99 nella sola campagna di monitoraggio del 17/06/2004, non rilevata nelle campagne di monitoraggio del 30/03/2004 e del 27/09/2004;
- Generale diminuzione della concentrazione di Diossine e Furani dalla prima alla terza campagna di monitoraggio;
- Significativa diminuzione della concentrazione di Benzene dalla prima alla terza campagna di monitoraggio. Nella terza campagna di monitoraggio (27/09/2004) non è stato rilevato nei campioni analizzati alcun valore superiore al limite di legge per il parametro suddetto;
- Presenza in un singolo campione (S06_06-50) di una concentrazione di Pentaclorofenolo leggermente superiore al limite stabilito dal D.M. 471/99 nella sola campagna di monitoraggio del 17/06/2004, non rilevata nelle campagne di monitoraggio del 30/03/2004 e del 27/09/2004;

- Generale diminuzione della concentrazione di benzo[a]pirene, benzo[g,h,i]terilene e dibenzo[a,h]antracene dalla prima alla terza campagna di monitoraggio. Nella terza campagna di monitoraggio (27/09/2004) non è stato rilevato nei campioni analizzati alcun valore superiore al limite di legge per i parametri suddetti.

Considerando ora principalmente la distribuzione dei contaminanti che deriva dai campionamenti effettuati con pompa sommersa, maggiormente rappresentativi dello stato qualitativo complessivo dell'acquifero analizzato, si possono effettuare le seguenti osservazioni:

Metalli (Tavole 12 - 34)

Considerazioni generali:

Come accennato precedentemente, nella sessione di monitoraggio del 27/09/2004 – 04/10/2004 è stato applicato dal laboratorio analitico un differente metodo di preparativa dei campioni, relativamente all'analisi dei metalli., che ha previsto una decantazione preliminare del campione e la successiva acidificazione in acido nitrico a freddo. I campioni prelevati nelle due sessioni di monitoraggio precedenti subivano invece un'analisi "sul totale", con acidificazione in acido nitrico a caldo. Tale preparativa, non perturbando comunque il campione, sottrae dallo stesso l'aliquota di particolato sospeso più pesante, che precipita durante il periodo di decantazione. La riduzione di concentrazioni di metalli riscontrata nella sessione di monitoraggio del 27/09/2004 – 04/10/2004 è quindi imputabile a quella frazione di metalli adesa al particolato suddetto.

Per quanto riguarda i singoli parametri, sono state rilevate le seguenti distribuzioni spaziali:

- **Alluminio** (Tavole 12, 13, 14), valore limite stabilito dal D.M. 471/99: 200 µg/l. La contaminazione interessa la maggior parte dell'area di pertinenza dello stabilimento. Nelle sessioni di monitoraggio del 30/03/2004 e del 17/06/2004 è stato riscontrato un hot spot nell'area NE del sito, in corrispondenza del punto d'indagine P04s, non più riscontrata nella sessione del 27/09/2004.
- **Arsenico** (Tavole 15, 16, 17), valore limite stabilito dal D.M. 471/99: 10 µg/l. La contaminazione, non generalizzata in tutto il sito, interessa principalmente la porzione SO dello stabilimento, dove sono presenti hot spots nei punti di indagine S05, S06 ed S11. La contaminazione riscontrata nei campioni superficiali si presenta invece maggiormente diffusa su tutto il sito.
- **Cobalto** (Tavole 18, 19), valore limite stabilito dal D.M. 471/99: 50 µg/l. I valori di concentrazione superiori al limite del D.M. 471/99 sono stati rilevati solo nella porzione NE dello stabilimento, in corrispondenza del punto d'indagine P04s, nella sola sessione di

monitoraggio del 30/03/2004. Nelle due sessioni successive non è stato riscontrato alcun superamento dei limiti di legge nei campioni profondi, ma solo un superamento nel punto d'indagine S02 nella sessione di monitoraggio del 17/06/2004 nel campionamento superficiale.

- **Cromo totale** (Tavole 20, 21), valore limite stabilito dal D.M. 471/99: 50 µg/l. I valori di concentrazione superiori al limite del D.M. 471/99 sono stati rilevati principalmente nella porzione NE dello stabilimento, in corrispondenza del punto d'indagine P04s, nella sola sessione di monitoraggio del 30/03/2004. Nelle due sessioni successive non è stato riscontrato alcun superamento dei limiti di legge nei campioni profondi; sono stati tuttavia rilevati superamenti anche nei punti di monitoraggio S02, S04, S05 ed S10 nei campionamenti superficiali relativi alle sessioni di monitoraggio del 30/03/2004 e del 17/06/2004. Nella sessione di monitoraggio del 27/09/2004 non sono stati invece riscontrati superamenti del limite di legge.
- **Cromo VI** (Tavola 22), valore limite stabilito dal D.M. 471/99: 5 µg/l. Per questo contaminante non è stato evidenziato alcun superamento del limite previsto dal D.M. 471/99 durante il campionamento effettuato con pompa sommersa, mentre si evidenzia un lieve superamento del limite in corrispondenza del punto S04 (porzione O del sito), sulla base dei dati del campionamento superficiale effettuato con bailer nella sola campagna di monitoraggio del 30/03/2004. Il dato non ha trovato conferma nelle sessioni di monitoraggio successive.
- **Ferro** (Tavole 23, 24, 25), valore limite stabilito dal D.M. 471/99: 200 µg/l. La contaminazione risulta diffusa in quasi tutto il sito in tutte le sessioni di monitoraggio effettuate, con una distribuzione prevalente nel settore NE, in corrispondenza dei punti di campionamento P04s e S09.
- **Manganese** (Tavole 26, 27, 28), valore limite stabilito dal D.M. 471/99: 50 µg/l. Anche in questo caso, come per il parametro Ferro, la contaminazione risulta diffusa in tutto il sito, con picchi di concentrazioni prevalentemente nelle aree NE e SO dello stabilimento.
- **Nichel** (Tavole 29, 30, 31), valore limite stabilito dal D.M. 471/99: 20 µg/l. I valori di concentrazione superiori al limite del D.M. 471/99 sono stati rilevati principalmente nella porzione NE dello stabilimento, in corrispondenza dei punti d'indagine P04s ed S02. Le analisi derivanti dai campionamenti superficiali hanno mostrato invece una contaminazione più diffusa. La sessione di monitoraggio del 27/09/2004 ha tuttavia identificato valori superiori al limite suddetto solo in corrispondenza del punto d'indagine S04.
- **Piombo** (Tavole 32, 33, 34), valore limite stabilito dal D.M. 471/99: 10 µg/l. I valori di concentrazione superiori al limite del D.M. 471/99, sono stati rilevati nella porzione NE dello stabilimento, in corrispondenza dei punti di indagine P04s ed S12. Tali punti non sono tuttavia

stati confermati durante la terza campagna di monitoraggio, in cui è stato riscontrato un singolo superamento del limite nel punto d'indagine S12, ma solo nel campionamento superficiale.

Inquinanti inorganici (Tavole 35 – 41)

Si tratta di Cianuri, Nitriti e Solfati, parametri che hanno mostrato un superamento dei limiti del D.M. 471/99.

Per quanto riguarda i Cianuri (valore limite stabilito dal D.M. 471/99 di 50 µg/l), si è rilevato un unico hot spot nella porzione S dello stabilimento, nel punto d'indagine S08 e, nella sessione di monitoraggio del 27/09/2004, anche nel punto d'indagine S07 (si vedano le Tavole 35, 36, 37).

Per quanto riguarda i nitriti (valore limite stabilito dal D.M. 471/99 di 500 µg/l), sono stati riscontrati superamenti nella sola sessione di monitoraggio del 27/09/2004 nei punti S04 e S08. Tale punti sono identificabili come hot spot della contaminazione (si veda la Tavola 38).

Infine, nel caso dei Solfati (valore limite stabilito dal D.M. 471/99 di 250 mg/l), si osservano superamenti del limite di legge diffusi approssimativamente in tutta l'area dello stabilimento (si vedano le Tavole 39, 40, 41).

Composti Organici Aromatici (Tavole 42, 43)

Per il parametro Benzene, l'unico tra i Composti Organici Aromatici che abbia mostrato superamento del limite di 1 µg/l stabilito dal D.M. 471/99, le mappe di isoconcentrazione mostrano la presenza di contaminazione principalmente nella porzione SO dello stabilimento, con un hot spot in corrispondenza del punto di indagine S11. E' da sottolineare tuttavia che nella sessione di monitoraggio del 27/09/2004 non è stato riscontrato alcun valore superiore ai limiti di legge relativamente a questa classe di composti.

IPA (Tavole 44 - 48)

Per i parametri benzo[a]pirene, benzo[g,h,i]perilene e dibenzo[a,h]antracene, gli unici tra gli IPA che hanno mostrato superamenti dei limiti del D.M. 471/99 (limite di 0,01 µg/l per tutti i parametri suddetti), le mappe di isoconcentrazione mostrano la presenza di aree di hot spot nell'area SO dello stabilimento, principalmente in corrispondenza dei punti d'indagine S05, S06 ed S11. Concentrazioni lievemente superiori al limite di legge sono stati riscontrati anche nel punto S02. Nei punti d'indagine S08 ed S09 sono stati rilevati superamenti dei limiti di legge solo in corrispondenza dei campionamenti superficiali. E' da sottolineare tuttavia che nella sessione di monitoraggio del 27/09/2004 non è stato riscontrato alcun valore superiore ai limiti di legge relativamente a questa classe di composti.

Fenoli e Clorofenoli (Tavola 49)

Relativamente al pentaclorofenolo, l'unico tra questa classe di contaminanti che abbia mostrato superamento del limite di 0,5 µg/l stabilito dal D.M. 471/99, i dati mostrano un solo superamento nel punto d'indagine S06, nella sola sessione di monitoraggio del 17/06/2004. Il dato non ha trovato conferma nelle sessioni di monitoraggio del 30/03/2004 e del 27/09/2004.

PCDD, PCDF (conversione TEF) (Tavole 50, 51, 52)

Per la sommatoria dei PCDD, PCDF le mappe di isoconcentrazione indicano un superamento del limite di 4×10^{-6} µg/l stabilito dal D.M. 471/99 principalmente nella porzione centrale del sito, in corrispondenza dei punti S04 ed S12. Nella sessione di monitoraggio del 30/03/2004 è stato rilevato un hot spot anche nella porzione SO del sito, in corrispondenza dei punti d'indagine S07 e P03s, non confermato durante le sessioni di monitoraggio successive.

PCB (Tavole 53, 54, 55)

Le mappe di isoconcentrazione del parametro PCB indicano un superamento del limite di 0,01 µg/l stabilito dal D.M. 471/99 principalmente nella porzione O-NO dello stabilimento (punto d'indagine S04), confermato in tutte le sessioni di monitoraggio ad oggi eseguite, ed una contaminazione diffusa nella porzione centrale del sito, evidenziata principalmente nei campionamenti superficiali.

Idrocarburi totali (espressi come n – esano) (Tavola 56)

Relativamente a questo parametro, è stato riscontrato un solo superamento del limite di 350 µg/l stabilito dal D.M. 471/99 nel punto d'indagine S10, nella sola sessione di monitoraggio del 17/06/2004. Il dato non ha trovato conferma nelle sessioni di monitoraggio del 30/03/2004 e del 27/09/2004.

4.3.2 Falda profonda

La tabella seguente riassume i parametri che hanno evidenziato concentrazioni superiori ai limiti di legge nei campioni di acqua di falda profonda prelevati durante le campagne di monitoraggio del 30/03/2004, 17/06/2004 e 27/09/2004:

Tabella 4.5: Parametri superiori al limite stabilito dal D.M. 471/99 rilevati nella falda profonda durante le tre campagne di monitoraggio effettuate.

Campagna di monitoraggio della falda profonda del 30/03/2004 – 07/04/2004	Campagna di monitoraggio della falda profonda del 17/06/2004 – 23/06/2004	Campagna di monitoraggio della falda profonda del 27/09/2004 – 04/10/2004
solfati	solfati	solfati
alluminio	alluminio	
arsenico	arsenico	
ferro	ferro	ferro
manganese	manganese	manganese
nichel	nichel	
piombo	piombo	
PCB	PCB	
benzene		

In Allegato 9, si riassumono i risultati riscontrati durante le tre sessioni di monitoraggio, con particolare riferimento ai parametri eccedenti i limiti di legge.

Le analisi hanno inoltre rilevato valori significativi dei seguenti parametri, non normati dal D.M. 471/99:

Anioni

- nitrati
- cloruri

Metalli

- calcio
- magnesio
- potassio
- sodio

Come per la falda superficiale, le concentrazioni di cloruri, comprese tra 282.000 e 9.750.000 µg/l, permettono di classificare anche le acque prelevate dalla falda profonda come “acque saline” (tenori in Cl⁻ > 1.000.000 µg /l).

Un'analisi più approfondita delle concentrazioni di ioni disciolti e del contenuto salino della falda profonda è riportata al Paragrafo 5.1.3.3.

E' da segnalare infine anche nella falda profonda la presenza in concentrazioni significative di coliformi totali, non normati dal D.M. 471/99.

Per quanto riguarda la falda profonda, i campionamenti sono stati effettuati sui tre piezometri P02p P03p e P04p utilizzando le stesse metodiche usate per i campionamenti dell'acquifero superficiale, ovvero è stato effettuato un campionamento superficiale con bailer ed uno profondo con pompa sommersa.

In generale, si osserva una contaminazione diffusa delle acque dell'acquifero profondo relativamente ai parametri Solfati e Ferro, mentre localmente sono stati rilevati in concentrazioni superiori ai limiti del D.M. 471/99 alcuni metalli (Arsenico, Manganese, Nichel, Piombo), PCB e Composti Organici Aromatici (Benzene).

In generale, si notano valori dei suddetti parametri in concentrazioni maggiori nel campione di acqua più superficiale, con diminuzione delle concentrazioni di uno e talora anche due ordini di grandezza in quello profondo. Solo nel piezometro P02p si hanno valori di concentrazioni confrontabili tra i due tipi di campione.

Confrontando i valori riscontrati nelle tre campagne di monitoraggio, si nota una progressiva diminuzione delle concentrazioni dei contaminanti rilevati nella falda profonda, come specificato di seguito:

- Generale diminuzione della concentrazione di metalli nella sessione di monitoraggio del 27/09/2004 rispetto alle sessioni precedenti (30/03/2004 e 17/06/2004), generata, come per la falda superficiale, dall'applicazione di un differente metodo di preparativa dei campioni approntato dal laboratorio analitico, analogo a quello adottato da ARPA Taranto.
- Progressiva diminuzione della concentrazione di PCB dalla prima alla terza sessione di monitoraggio. Nella terza sessione di monitoraggio (27/09/2004) non sono stati riscontrati nei campioni analizzati valori superiori al limite di legge per il parametro suddetto.
- Presenza in un singolo campione (P02p_20-00) con una concentrazione di Benzene leggermente superiore al limite stabilito dal D.M. 471/99 nella sola campagna di monitoraggio del 30/03/2004, non rilevata nelle campagne di monitoraggio successive.

I dati del piezometro di monte idrogeologico (P01p) non sono disponibili, in quanto non è stato possibile effettuare il campionamento (paragrafo 3.2.2).

4.4 Coefficiente di permeabilità

Le prove di risalita sono tradizionalmente interpretate utilizzando le equazioni dell'idrodinamica sviluppate per il regime transitorio, che permettono di esprimere il livello dinamico dell'acquifero in funzione del tempo di emungimento.

In particolare, la formula di approssimazione logaritmica di Jacob è data da:

$$\Delta h'_p = (0,183 Q/T) * \log (t+t'/t')$$

ovvero

$$T = (0,183 Q / \Delta h'_p) * \log (t+t'/t')$$

dove:

$\Delta h'_p$ = depressione residua (in m) al tempo $t+t'$

Q = portata costante emunta (in m^3/s)

T = trasmissività dell'acquifero (in m^2/s)

t = tempo (in s) intercorso tra l'inizio e la fine dell'emungimento

t' = tempo (in s) trascorso dall'arresto dell'emungimento.

Tale formula risulta valida per pozzi completi e per acquiferi confinati. La sua validità può essere estesa ad acquiferi liberi, come nel caso in oggetto, purchè risultino verificate le seguenti condizioni: che lo spessore della falda sia molto più piccolo delle dimensioni orizzontali della stessa e che il gradiente piezometrico sia piccolo. In pratica si ammette che le formule siano valide se

$$\Delta h_p \leq 0,1 H_1$$

dove:

Δh_p = depressione piezometrica (in m) misurata nel piezometro alla fine dell'emungimento

H_1 = spessore (in m) dell'acquifero saturo.

Secondo alcuni autori tale relazione è valida fino a $\Delta h_p \leq 0,25 H_1$.

Quando tali condizioni sono verificate, è opportuno effettuare una correzione dei valori di h_p che tenga conto della condizione di freaticità, ovvero

$$h_p' = h_p - (h_p^2 / 2 H_1)$$

dove:

h_p = depressione piezometrica (in m) misurata nel piezometro al tempo t

H_1 = spessore (in m) dell'acquifero saturo.

Si riportano i dati relativi alla formula di approssimazione logaritmica di Jacob su un grafico semilogaritmico tempo-abbassamento [$\Delta h_p'$ in ordinate e \log di $(t+t')/t'$ in ordinate]; se si escludono il tratto iniziale di risalita rapida e quello finale di risalita lenta, i punti si allineano sulla retta rappresentativa della curva.

Se si sceglie il termine $(t+t')/t'$ pari ad un ciclo logaritmico, in modo che $\log (t+t')/t' = 1$, il valore $\Delta h_p'$ può essere misurato direttamente sul grafico, in quanto è pari all'incremento di depressione residua che si verifica in un ciclo logaritmico.

Di conseguenza, si può stimare la trasmissività (T) e il coefficiente di permeabilità (K) utilizzando le seguenti equazioni:

$$T = 0,183 Q / \Delta h_p'$$

$$K = T / H_1$$

Si riportano in Tabella 4.6 i dati relativi alle prove di risalita effettuate per la determinazione del coefficiente di permeabilità: sono riassunte le portate utilizzate, i livelli dinamici misurati alla stabilizzazione e l'abbassamento rilevato nell'acquifero. Tutte le misure del livello piezometrico sono state effettuate da testa pozzo.

Tabella 4.6: Prova di risalita				
Punto di osservazione	Portata (l/s)	Livello dinamico alla stabilizzazione misurato da testa pozzo (m)	Abbassamento (m)	Spessore acquifero (m)
S01	0,15	7,10	1,08	1,78
S02	0,048	7,85	0,81	1.06
S03	0,375	3,98	0,15	2.67

Tabella 4.6: Prova di risalita

Punto di osservazione	Portata (l/s)	Livello dinamico alla stabilizzazione misurato da testa pozzo (m)	Abbassamento (m)	Spessore acquifero (m)
S04	0,107	4,55	0,88	4,13
S05	0,214	4,66	0,76	3,5
S06	0,333	3,26	0,52	4,36
S07	0,5	4,55	0,79	5,65
S08	0,087	4,33	0,97	3,64
S09	0,5	2,84	0,11	5,27
S10	0,428	4,96	0,12	3,86
S11	0,088	4,96	1,56	5,1
S12	0,5	3,30	0,29	4,49
P03s	0,5	4,09	0,23	4,15
P04s	0,032	6,28	0,81	2,03

Nota: Livello statico misurato da testa pozzo

Le elaborazioni hanno consentito di ottenere, per ogni diagramma relativo ad ognuno dei punti di osservazione, i valori di trasmissività T e di coefficiente di permeabilità K riassunti nella seguente Tabella 4.7.

Tabella 4.7: Valori di Trasmissività (T) e Coefficiente di Permeabilità (K)

Punto di osservazione	Trasmissività T (m ² /s)	Coeff. di permeabilità K (m ³ /s)
S03	1,46*10 ⁻⁴	5,46*10 ⁻⁵
S04	1,40*10 ⁻⁴	3,39*10 ⁻⁵
S05	2,69*10 ⁻⁴	7,68*10 ⁻⁵
S06	2,60*10 ⁻⁴	5,97*10 ⁻⁵
S07	1,57*10 ⁻³	2,78*10 ⁻⁴
S10	3,59*10 ⁻³	9,31*10 ⁻⁴

Tabella 4.7: Valori di Trasmissività (T) e Coefficiente di Permeabilità (K)

Punto di osservazione	Trasmissività T (m²/s)	Coeff. di permeabilità K (m³/s)
S12	3,43*10 ⁻³	7,63*10 ⁻⁴
P03s	1,98*10 ⁻³	4,79*10 ⁻⁴

In Allegato 10 sono riportati i diagrammi $\Delta h'_p - \log(t+t')/t'$, utilizzati per le elaborazioni con il metodo di approssimazione logaritmica di Jacob applicato alle curve di risalita. Tale metodo è stato utilizzato solo per i piezometri S03, S04, S05, S06, S07, S10, S12, P03s, per i quali risulta verificata la condizione per cui l'abbassamento piezometrico è piccolo rispetto allo spessore dell'acquifero. L'Allegato 10 riporta inoltre i tabulati di interpretazione dei risultati completi.

Si può osservare come i risultati ottenuti si attestino attorno ad una trasmissività media di circa $2,64 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, nel gruppo di piezometri S07, S10, S12, P03s, mentre sia inferiore (valore medio circa $2,03 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$) nel gruppo di piezometri S03, S04, S05, S06. Considerando gli spessori locali dell'acquifero, si otterrebbe una permeabilità media di $6,13 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ nel primo gruppo e di circa $5,62 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ nel secondo gruppo.

In conclusione, la prova di risalita ha confermato che l'acquifero in oggetto presenta trasmissività e permeabilità medio-basse, caratteristiche dei terreni di natura sabbiosa (sabbie da fini a grossolane per i valori di K dell'ordine di 10^{-4} m/s e sabbie argillose per i valori di K dell'ordine di 10^{-5} m/s). Tali risultati sono compatibili con le litologie riscontrate in sito durante l'esecuzione dei sondaggi.

4.5 Misure piezometriche

I dati piezometrici raccolti durante le campagne di indagine svolte da ENSR nelle date del 23/03/04, 07/04/04, 27/04/04, 14/05/04, 03/06/04, 18/06/04, 22/07/04, 27/09/04, 14/10/04 e 21/10/04 sono riportati nelle sottostanti Tabelle 4.8 – 4.9 (rispettivamente riferite alla falda superficiale ed alla falda profonda).

I livelli piezometrici superficiali si attestano su valori variabili tra 11,4 e 14,5 m s.l.m, corrispondenti a soggiacenze dell'ordine di 7-2 m da p.c. Si noti che nel piezometro P02s non è stato possibile rilevare la piezometria durante le campagne di misurazione, in quanto non si è riscontrata presenza d'acqua (cfr. paragrafo 3.2.2).

La superficie piezometrica relativa alla falda superficiale è visibile nelle Tavole 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, relative rispettivamente alle campagne di misurazione del 23/03/04, 07/04/04, 27/04/04, 14/05/04, 03/06/04, 18/06/04, 22/07/04, 27/09/04, 14/10/04 e 21/10/04.

I livelli piezometrici profondi si attestano invece su valori variabili tra 0,0 e 3,1 m s.l.m ed il livello del mare, corrispondenti a soggiacenze di circa 18,2 – 16,8 m da p.c.

La superficie piezometrica relativa alla falda profonda è visibile nelle Tavole 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, relative rispettivamente alle campagne di misurazione del 23/03/04, 07/04/04, 27/04/04, 14/05/04, 03/06/04, 18/06/04, 22/07/04, 27/09/04, 14/10/04 e 21/10/04.

Tabella 4.8: Misure della soggiacenza nei piezometri superficiali dal 23/03/2004 al 21/10/2004

Data campagna	P01s	P03s	P04s	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11	S12
23/03/2004	5,60	3,59	4,87	6,75	7,05	3,62	3,30	3,48	2,61	3,47	2,63	2,89	4,63	3,18	3,15
07/04/2004	5,87	3,53	4,16	5,88	6,90	3,76	3,39	3,67	2,74	3,41	3,12	2,80	4,60	3,14	3,05
27/04/2004	5,50	3,87	5,47	6,03	7,04	3,84	3,64	3,96	2,97	3,65	3,40	2,90	4,77	3,39	3,16
14/05/2004	5,93	3,81	7,05	6,11	6,95	3,77	3,38	3,98	2,21	3,76	3,32	2,87	4,86	3,18	3,12
03/06/2004	5,93	3,81	7,05	6,10	6,95	3,76	3,38	3,97	2,21	3,76	3,31	2,86	4,86	3,18	3,12
18/06/2004	5,93	3,61	5,79	6,25	7,01	3,88	3,24	3,79	2,65	3,49	2,85	2,90	4,93	3,13	3,19
22/07/2004	6,02	3,61	5,81	6,27	7,00	3,85	3,52	3,80	2,67	3,50	2,70	2,85	4,96	3,12	3,14
27/09/2004	6,14	3,65	5,59	6,08	4,11	3,77	3,08	3,06	2,38	3,45	2,78	2,75	4,97	2,97	2,97
14/10/2004	6,10	3,58	5,59	6,01	7,05	3,76	3,43	3,78	2,59	3,43	2,81	2,73	4,93	3,05	3,00
21/10/2004	6,10	3,64	5,76	6,11	7,07	3,80	3,61	3,88	2,70	3,49	2,95	2,74	4,97	3,17	3,02

Tabella 4.9: Misure della soggiacenza nei piezometri profondi dal 23/03/2004 al 21/10/2004

Data campagna	P01p	P02p	P03p	P04p
23/03/2004	15,4	16,51	14,88	16,05
07/04/2004	15,6	16,46	14,69	16,14
27/04/2004	15,55	16,45	14,61	15,12
14/05/2004	15,54	16,43	14,6	16,11
03/06/2004	15,53	16,43	14,61	16,12
18/06/2004	15,65	16,61	16,78	16,30
22/07/2004	15,72	17,21	15,42	16,92
27/09/2004		16,87	15,10	16,60
14/10/2004		16,85	15,08	16,57
21/10/2004		16,87	15,09	16,57

4.6 Acque del ciclo di raffreddamento delle centrali CET2 e CET3

Si riportano di seguito i valori superiori ai limiti di rilevabilità strumentale riscontrati nei campioni di acqua prelevati in data 03/06/2004 dalle condutture interrate in entrata ed in uscita dal circuito secondario di raffreddamento delle centrali CET2 e CET3 (si veda la Tavola 4):

Tavola 4.10: Sintesi dei valori superiori ai limiti di rilevabilità strumentale riscontrati nei campioni di acqua prelevati dalle condutture interrate in entrata ed in uscita dal circuito secondario di raffreddamento delle centrali CET2 e CET3									
Campione	Analita	cloruri	nitrati	solforati	calcio	magnesio	potassio	sodio	alluminio
	u.m.	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
W06		24100000	40900	3340000	403000	1360000	378000	10000000	19,9
W07		23700000	40700	3240000	378000	1330000	383000	10400000	136
W08		23300000	39300	3200000	370000	1320000	400000	10500000	50
W09		28700000	39200	4130000	365000	1270000	385000	9960000	44,2
W10		21300000	38900	2900000	367000	1280000	394000	10500000	13,1
Campione	Analita	arsenico	cadmio	cromo totale	ferro	manganese	nichel	piombo	rame
	u.m.	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
W06		<0,55	<0,091	14,6	617	11,7	3,17	2,68	4,07
W07		<0,55	<0,091	18,7	1440	42,3	4,19	5,27	10,2
W08		<0,55	<0,091	16,4	631	10,1	2,86	2,95	2,88
W09		<0,55	<0,091	17	959	14,2	3,46	4,35	5,47
W10		5,59	1,33	11,3	274	8,09	2,28	2,86	<2
Campione	Analita	vanadio	zinco	idrocarburi totali	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	OCDD	- PCDD e PCDF (conversione T.E.)	1,2,3,4,7,8-HxCDF	1,2,3,6,7,8-HxCDF
	u.m.	µg/L	µg/L	µg/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
W06		<2	20,8	81,4	0,001	<0,001	0,000018	<0,0005	<0,0005
W07		2,87	57,8	<3	<0,0005	<0,001	0,000186	<0,0005	<0,0005
W08		<2	56,4	4,31	<0,0005	<0,001	0,000005	<0,0005	<0,0005
W09		<2	74,7	<3	<0,0005	0,0026	0,000006	<0,0005	<0,0005
W10		<2	51,3	47,8	<0,0005	<0,001	0,000945	0,0032	0,0016
Campione	Analita	1,2,3,7,8,9-HxCDF	1,2,3,7,8-PeCDF	2,3,7,8-TCDF	OCDF	toluene	fenoli totali	2-nitrofenolo	fenolo
	u.m.	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
W06		<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0075	<0,0168	0,579	0,0472	0,176
W07		<0,0005	<0,0005	0,0017	0,0157	<0,0168	0,0478	0,0478	<0,008
W08		<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0052	<0,0168	0,282	0,0743	0,207
W09		<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0031	0,11	<0,008	<0,008	<0,008
W10		0,0016	0,0017	0,002	0,0202	0,08	<0,008	<0,008	<0,008

Tabella 4.10: Sintesi dei valori superiori ai limiti di rilevabilità strumentale riscontrati nei campioni di acqua prelevati dalle condutture interrate in entrata ed in uscita dal circuito secondario di raffreddamento delle centrali CET2 e CET3

Campione	Analita	IPA totali	pirene	cis-clordano	trans-clordano	coliformi totali
	u.m.	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	UFC/100mL
W06		0,0145	0,0145	<0,008	<0,008	0
W07		<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	10
W08		<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	0
W09		<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	2
W10		<0,008	<0,008	0,0175	0,0145	0

E' da sottolineare la presenza significativa di alcuni parametri già rilevati nelle acque della falda superficiale, tra cui:

- Solfati (valori compresi tra 2.900.000 e 4.130.000 µg/l)
- Ferro (valori compresi tra 617 e 1.440 µg/l)
- Alluminio (valori compresi tra 13,1 e 136 µg/l)
- Cromo Totale (valori compresi tra 11,3 e 18,7 µg/l)
- Manganese (valori compresi tra 10,1 e 42,3 µg/l)
- Nichel (valori compresi tra 2,28 e 4,19 µg/l)
- Piombo (valori compresi tra 2,68 e 5,27 µg/l)
- Sommatoria PCDD, PCDF (valori compresi tra 5×10^{-9} e $9,45 \times 10^{-7}$ µg/l)

I parametri sopra elencati sono stati rilevati in concentrazioni paragonabili sia nelle acque in entrata sia in quelle in uscita dal circuito di raffreddamento delle centrali CET2 e CET3; si esclude quindi un apporto di tali parametri dovuto alle attività pertinenti alle centrali CET 2 e CET 3.

I certificati analitici dei campioni suddetti sono riportati in Allegato 11.

5.0 MODELLO CONCETTUALE PRELIMINARE

5.1 Caratterizzazione geologica e idrogeologica del sito

5.1.1 Inquadramento geomorfologico e idrografico

Nell'area della conca di Taranto sono presenti configurazioni morfologiche differenti da zona a zona. Le forme prevalenti del paesaggio sono, infatti, strettamente legate alla tipologia rocciosa in affioramento e sono perlopiù tipiche di aree a dominanza calcarea. Gli affioramenti calcarei e calcarenitici sono responsabili di morfologie articolate in canali o gravine, orientati prevalentemente nord-sud, e terrazzi, organizzati in diversi ordini e limitati da scarpate, che rispecchiano il modellamento operato dagli agenti esogeni in relazione alle ripetute oscillazioni marine verificatesi a partire dal Pleistocene medio-superiore e legate ad eventi tettonici e climatici. Nelle aree adiacenti e retrostanti la costa, si passa a morfologie più dolci e pressoché pianeggianti, degradanti verso il mare, nelle quali affiorano in predominanza i depositi sciolti quaternari. Infine sono presenti aree leggermente depresse in terreni argillosi che costituiscono spesso zone acquitrinose e palustri.

Dal punto di vista idrografico, nella penisola salentina i caratteri di elevata permeabilità dei litotipi affioranti non consentono un deflusso regolare delle acque di origine meteorica verso il mare, ma favoriscono una diretta alimentazione del sistema idrico sotterraneo.

La rete idrografica naturale è estremamente povera; i brevi corsi d'acqua presenti nell'area sono il Fosso della Felicia ed il Fosso Galese, ubicati qualche chilometro a est del sito, che sfociano nel Mar Piccolo; in particolare, il Fosso della Felicia scorre in direzione nord nordovest-sud sudest a circa 1100-1200 m dall'ingresso del sito verso est. Circa 700-800 m a sud del sito è da segnalare la presenza di un'area depressa morfologicamente e paludosa che riporta il toponimo "Il Padule". La linea di costa è ubicata a circa 2,4 km verso sudest.

5.1.2 Quadro geologico e stratigrafico regionale

La conformazione geologica dell'area è derivata dall'evoluzione strutturale legata alla nascita ed evoluzione della Catena alpino-himalaiana prima e della Catena appenninico-dinarica poi. Le unità geologiche dell'area di Taranto sono caratterizzate da una successione calcarea che costituisce il substrato della fossa pliocenica della valle del Bradano (Fossa bradanica). In particolare, l'arco ionico tarantino corrisponde ad un tratto del versante ionico della Fossa bradanica.

La Fossa bradanica, allineata NO-SE, rappresenta una delle strutture tettoniche più importanti della Puglia, che, partendo dalla zona del F. Fortore (a Nord di Foggia), si estende fino al Golfo di Taranto, delimitata ad occidente dal Fronte della Catena Appenninica (Serie alloctona) e ad oriente dal blocco rigido del Gargano-Murge (Serie della Piattaforma). La Fossa bradanica, grazie ad un

sistema di faglie distensive, degrada verso ovest fino a 4.000 metri sotto il livello del mare e si è impostata nel Pliocene inferiore, per raggiungere il culmine nel Pleistocene, quando si ha la totale emersione dell'area. Come ben rappresentato dalla sezione trasversale, riportata nella Figura 5.1 sottostante, la massa dei sedimenti è rappresentata dalle serie alloctone dell'Appennino (Cretaceo-Miocene) sovrascorse sui depositi più recenti del Pliocene medio-superiore.



Figura 5.1: Schema strutturale dell'area della Fossa Bradanica; fonte: Società Geologica Italiana, 1999

Nell'area di studio sono presenti tutti i termini litologici riferibili alla successione sedimentaria della Fossa Bradanica. Procedendo dal basso verso l'alto sono riconoscibili le seguenti formazioni:

- Calcare di Altamura: si tratta di calcari compatti biancastri o grigi, calcari dolomitici e dolomie tenaci e generalmente vacuolari, talora intercalate a strati di calcare micritico di colore biancastro. La Formazione è ascrivibile al Senoniano (Cretaceo) e risulta in affioramento nella parte orientale e settentrionale della città di Taranto. La stratificazione è sempre distinta, con prevalente direzione degli strati suborizzontale, talora in banchi anche di notevole spessore. I calcari dolomitici di colore grigio scuro sono prevalenti verso la parte bassa della formazione. La frazione organogena è costituita da Rudiste ed Echinidi; le microfaune sono in genere scarse. La formazione è permeabile per fessurazione e carsismo. I fenomeni carsici non sono

molto accentuati; le fratture, lì dove rilevabili, hanno per lo più un andamento subverticale e spesso sono serrate da terra rossa.

- Calcareniti di Gravina: in trasgressione sui Calcari di Altamura si rinvengono sedimenti calcarenitici o biocalcareniti di colore grigio-biancastro o giallastro del Calabriano (Pleistocene inf.) che affiorano a nord-est della città di Taranto. La formazione delle Calcareniti di Gravina è costituito da calcareniti e biocalcareniti di colore biancastro o giallastro, per lo più irregolarmente stratificate e a differente grado di cementazione, in genere grossolane e permeabili per porosità, ma comunque di caratteristiche variabili da luogo a luogo. Talora si presentano fini, pulverulente e molto compatte; altre volte organogene, costituite da piccoli clasti e frammenti fossili, ben cementate e altamente porose; altre volte ancora si presentano friabili e massicce.
- Argille subappennine: Le Calcareniti di Gravina passano verso l'alto, con continuità di sedimentazione e concordanza stratigrafica, a depositi argillosi costituiti da argille e argille marnose di colore grigio-azzurro, note come Argille del Bradano o subappennine e rappresentanti il sedimento più fine del ciclo Bradanico (Calabriano). Si tratta di argille marnose e siltose, marne argillose, talora decisamente sabbiose, di colore grigio-azzurro o grigio-verde. I litotipi più argillosi prevalgono nella parte bassa della formazione, nella parte alta prevalgono i litotipi marnosi, spesso con concrezioni calcaree biancastre, talora in forma di lenti. Verso la sommità si ha spesso un esile livello di alternanze argilloso-marnoso e sabbioso-calcaree. La stratificazione spesso manca o è in banchi di notevole spessore; solo quando compaiono le intercalazioni sabbiose si riscontrano strati di spessore vario.
- Calcareniti di M. Castiglione: si tratta di calcareniti ben cementate, perlopiù grossolane, calcareniti farinose e calcari grossolani formati da tritume di fossili e rocce calcaree con cemento calcareo. La stratificazione è in genere evidente; talora sono presenti breccie calcaree rossastre.

5.1.2.1 Stratigrafia locale

Sulla base della Carta Geologica d'Italia 1:100.000 (foglio "Taranto", n. 202), la geologia di superficie nel sito in oggetto è rappresentata dall'affioramento dell'unità Q_c^c , ovvero delle "Calcareniti di M. Castiglione" (Tavola 77).

Indagini condotte nell'area da parte della società Bozzetto Fondazioni S.r.l. nel 1998 hanno evidenziato nei 3 sondaggi eseguiti in sito (S1, S2, S3, spinti fino a 20 m da piano campagna), ubicati nella porzione nordorientale del sito (area delle fondazioni ventilatori gas mixing, zona camini), la presenza nel sottosuolo della seguente successione stratigrafica, dal basso verso l'alto: Calcare di Altamura, costituito localmente da calcareniti e calcilutiti; Calcareniti di Gravina, costituite localmente da breccie calcaree in scarsa matrice sabbiosa o da sabbie calcaree medio-fini con spessori inferiori ad

1-1,5 m; Argille subappenniniche; Calcareni postcalabrianne, ove localmente sono riconoscibili, dal basso verso l'alto, limi sabbiosi, sabbie calcaree fini, calcilutiti talora sabbiose o argillose e calcareniti poco coerenti (i livelli calcilutitici e calcarenitici non sono presenti ovunque); terreni di riporto, costituiti da clasti grossolani eterogenei, prevalentemente calcarei, immersi in una matrice sabbioso-limoso-argillosa. L'intera area è poi coperta da almeno 25 cm di calcestruzzo.

Tra il 10/02/2004 ed il 04/05/2004 ENSR ha realizzato in sito 20 sondaggi, 16 dei quali superficiali e spinti fino alla profondità di circa 10 m da p.c., e 4 profondi, spinti fino alla profondità di circa 30 m da p.c. Le stratigrafie relative ai 20 sondaggi sono riportate in Allegato 2, mentre la loro posizione è visibile in Tavola 3.

Sulla base delle evidenze emerse dai nuovi sondaggi, è possibile confermare la sequenza sopra descritta. Gli spessori delle diverse litozone possono variare localmente. In particolare si assiste nel sottosuolo dell'area indagata ad un graduale incremento di spessore della formazione argillosa (Argille subappenniniche) procedendo da nord verso sud, come di seguito descritto. Le superfici di tetto delle diverse formazioni identificate si presentano piuttosto irregolari e ondulate.

La successione è così costituita, procedendo dal basso verso l'alto:

- Calcare di Altamura, costituito da calcari e calcareniti alterate e fessurate, a tratti carsificate, con tracce conchigliari fossili; la superficie di tetto sembra inclinata verso sud e risulta posta a 7,40 m da p.c. in P01p e a 25,8 m da p.c. in P03p

- Calcareni di Gravina, presenti in facies sabbiosa, talora con clasti; sono state distinte nel solo sondaggio P02p, con uno spessore di 2,2 m. Negli altri sondaggi è presente al di sopra del Calcare di Altamura un livello sabbioso, talora con componente argillosa, di spessore inferiore al metro, che potrebbe essere ascritto alla formazione.

- Argille subappenniniche, costituite da argille verdi, pressochè impermeabili, di colore verde/ocra, talora con tracce conchigliari fossili; possono essere presenti livelli contenenti noduli carbonatici eterometrici arrotondati. Al tetto della formazione è presente in quasi tutta l'area indagata un livello argilloso sabbioso. Lo spessore è in graduale aumento verso sud; il tetto della formazione è rinvenuto a circa 5 m da p.c. in P01p, mentre è ubicato a 6 m da p.c. in P03p e a 7,5 m da p.c. in P04p. Gli spessori variano, procedendo da nord verso sud, da 2,30 m in P01p, a 6 m in P04p, fino a circa 20 m in P03p. Da notare che nel rimanente sondaggio profondo P02p, ubicato in posizione nord nell'area portineria, il livello argilloso è estremamente ridotto a circa 20 cm di spessore e risulta costituito solamente dal livello presente al tetto della formazione e contenente la componente sabbiosa. L'impermeabilità della formazione risulta pertanto, in questa posizione, compromessa sia dall'esiguo spessore che dalla presenza di litologie più grossolane.

- Calcareniti postcalabriere (Calcareniti di M. Castiglione), costituite nell'area indagata esclusivamente da sabbie fini/grossolane limose o argillose (generalmente tra 2 e 7-8 m da p.c.), di colore beige/marrone. I livelli calcilutitici e calcarenitici più coerenti non sono stati rinvenuti.

- Terreni di riporto, generalmente di spessore di circa 2 m, ma che possono raggiungere localmente la potenza anche di 5 m, sono prevalentemente costituiti da clasti grossolani eterogenei, prevalentemente calcarei, immersi in una matrice sabbioso-limoso-argillosa.

Le sezioni stratigrafiche ricostruite sulla base delle litologie riconosciute nei 18 sondaggi sono visibili nelle Tavole 78.a e 78.b. Si osservi l'assottigliamento della coltre argillosa procedendo da sud verso nord dell'area indagata.

5.1.3 Idrogeologia

5.1.3.1 Inquadramento regionale

L'area di interesse è collocata all'interno dell'idrostruttura dell'arco ionico tarantino (Società Geologica Italiana, 1999), collocata a cavallo tra l'*Unità idrogeologica della Murgia* e l'*Unità idrogeologica del Salento*, la cui separazione è rappresentata dall'ideale allineamento di Brindisi-Taranto (Figura 2). Questo territorio presenta una falda superficiale piuttosto estesa, contenuta nelle coperture sabbioso-ghiaiose terrazzate, trasgressive sui depositi argillosi plio-pleistocenici. Le falde superficiali sono sostenute dalla presenza di un banco argilloso (precedentemente indicato nella descrizione geologica dell'area come Argille subappenniniche). Nell'area tarantina le falde idriche superficiali circolano in condizioni freatiche, in un acquifero costituito da sabbie calcaree, arenarie e sabbie limose, generalmente caratterizzato da modestissima permeabilità. L'acqua si rinviene generalmente a pochi metri da piano campagna.

Una seconda falda, più profonda, ha sede nel substrato carbonatico mesozoico. Tale falda è alimentata dalle acque meteoriche più a monte e poggia sull'acqua marina di invasione continentale. Sin dal Paleogenico la Penisola salentina ha subito gli effetti di una significativa tettonica disgiuntiva. Le azioni tettoniche che si sono susseguite nel territorio tarantino hanno, di fatto, influito molto sui caratteri di permeabilità delle attuali zone di percolazione e satura, agendo non solo in termini di fratturazione, ma ancor più sull'evoluzione della canalizzazione e vascolarizzazione carsica. Per quanto riguarda il fenomeno carsico, tra i fattori che hanno favorito lo sviluppo di vie di preferenziale incarsimento orizzontale e l'articolazione dell'intera rete carsica, un posto di primo piano spetta alla configurazione peninsulare della regione. Questa, sollecitando quasi da ogni lato la discarica a mare delle acque di falda, ha fatto sì che qualsiasi famiglia di giunti presenti nella roccia godesse di una favorevole orientazione nei confronti della spontanea direzione di deflusso della falda. A condizionare lo sviluppo delle manifestazioni carsiche superficiali e sotterranee sono soprattutto i depositi carbonatici del Cretaceo.

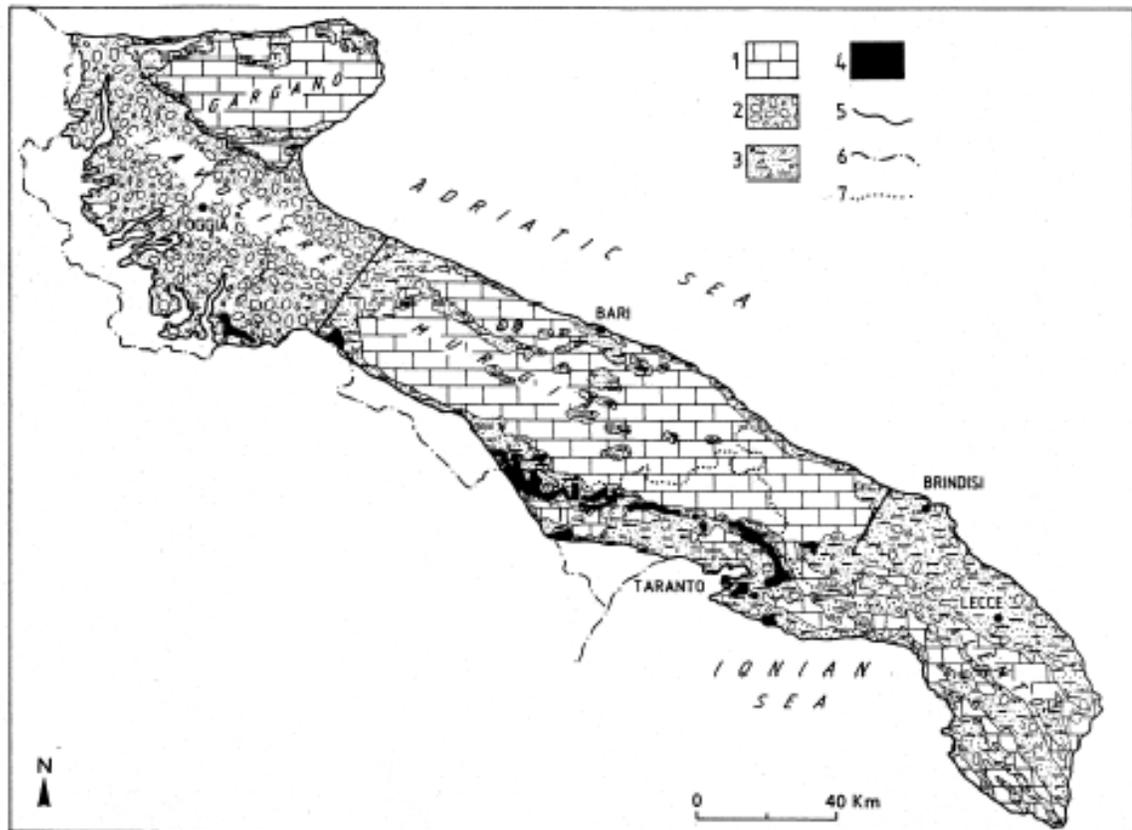


Figura 5.2: Schema delle Unità Idrogeologiche della Regione Puglia (Unità del Gargano, Unità del Tavoliere, Unità della Murgia e Unità del Salento): 1) affioramenti carbonatici delle unità del Gargano, Murgia e Salento; 2) Unità del Tavoliere, prevalentemente conglomerati e sabbie; 3) acquiferi e litotipi permeabili superficiali, costituiti da calcareniti, sabbie argillose, sabbie, ghiaie, conglomerati; 4) litotipi a bassa permeabilità, costituiti da argille marnose, 5) limite di unità idrogeologica; 6) limite regionale; 7) limite provinciale. Fonte: Cotecchia V. et alii, 1999

5.1.3.2 Idrogeologia locale

Dal punto di vista idrogeologico, il sottosuolo del sito indagato è sede di un acquifero superficiale freatico, alimentato dall'infiltrazione efficace delle precipitazioni e sostenuto da livelli argillosi praticamente impermeabili. Più in profondità, al di sotto delle Argille subappenniniche, si ritrova un acquifero di importanza regionale, ubicato nei livelli calcarenitici e calcarei; le acque della falda profonda scorrono, infatti, attraverso le fratture e carsificazioni delle formazioni mesozoiche.

Sulla base della carta delle permeabilità dei terreni in affioramento prodotta dalla Regione Puglia in allegato al Piano Direttore a stralcio al Piano di Tutela delle Acque (2002), l'area in oggetto ricade all'interno di terreni descritti come mediamente permeabili.

I livelli piezometrici relativi alla falda superficiale ed alla falda profonda sono stati verificati tramite la realizzazione ed il monitoraggio rispettivamente di 16 piezometri superficiali (spinti fino a circa 10 m di profondità da piano campagna) e di 4 piezometri profondi (spinti, ove possibile, fino a circa 30 m di profondità da p.c.).

Sulla base dei dati piezometrici raccolti durante le campagne di indagini svolte da ENSR in data 23/03/04, il 07/04/04, il 27/04/04, il 14/05/04 ed il 03/06/04, 18/06/04, 22/07/04, 27/09/04, 14/10/04 e 21/10/04, i cui dati sono riportati nelle Tabelle 4.8 e 4.9 riportate al paragrafo 4.5, è stato possibile confermare l'esistenza in sito dei due acquiferi sovrapposti: il primo, freatico, ubicato all'interno delle Calcareniti postcalabriere e nel materiale del riporto ed esteso fino alla base del livello argilloso-sabbioso presente alla sommità delle Argille subappenniniche, il secondo, profondo, ubicato nei carbonati mesozoici.

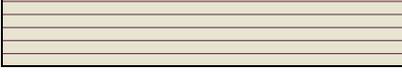
Per quanto attiene alla falda superficiale, si tratta di una falda con potenzialità molto ridotta e piuttosto instabile, come è possibile osservare dalle variazioni dei livelli registrati nelle dieci campagne piezometriche. Tale variabilità è maggiormente visibile nella rappresentazione dei livelli nelle sezioni stratigrafiche riportate nelle Tavole 78.a e 78.b (si ricordi che il livello della falda profonda è fittizio, in quanto riferito ad un acquifero in pressione). Sulla base di queste ricostruzioni bidimensionali del livello della falda superficiale, è importante osservare, inoltre, che lo spessore della falda si riduce fino ad annullarsi nei punti d'indagine dove è stata riscontrata una netta diminuzione dello spessore delle Argille subappenniniche, che rappresentano la base impermeabile dell'acquifero stesso.

Al fine di modellizzare l'andamento della falda superficiale, è stato sviluppato da ENSR un modello idrogeologico tridimensionale del sottosuolo dello stabilimento ISE, sulla base dei dati rilevati dai nuovi piezometri installati e dalle campagne piezometriche di Marzo-Ottobre 2004. La descrizione dettagliata dell'elaborazione dei dati e della costruzione del modello è riportata in Appendice 1.

Per la visualizzazione tridimensionale è stato utilizzato il programma EVS (Environmental Visualization System) prodotto da CTech Development Corporation. Questo software consente la trasformazione dei dati provenienti vari tipi di studi ambientali condotti su di un sito in fedeli rappresentazioni nello spazio tridimensionale. Il programma ha consentito, nel caso dello stabilimento in oggetto, di gestire e visualizzare dati di natura geologico-stratigrafica, idrogeologica e chimica.

Nelle Figure da 5.3 - 5.5 si riportano alcune immagini del modello tridimensionale del sito in oggetto, con la rappresentazione delle unità idrogeologiche e della falda superficiale:

Legenda delle unità idrogeologiche del modello tridimensionale:

Simbologia	Unità idrogeologica
	Terreno superficiale insaturo
	Terreno superficiale saturo, sede dell'acquifero freatico
	Argille a bassa permeabilità
	Calcari e delle calcareniti fessurate, sede dell'acquifero profondo

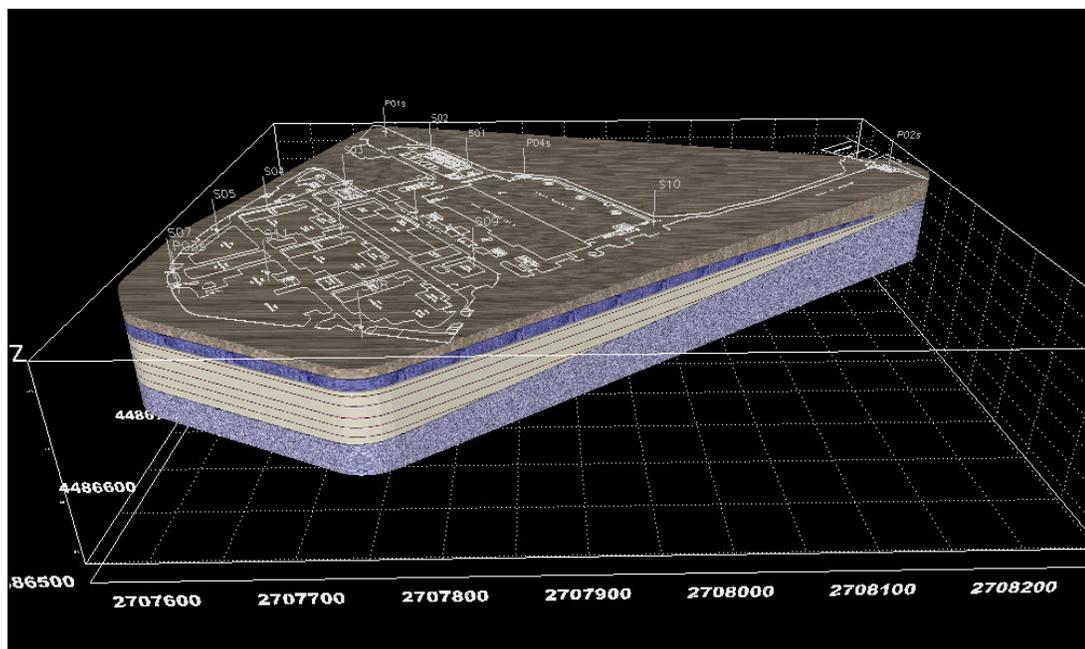


Figura 5.3: Modello idrogeologico del sottosuolo. Si rappresentano le quattro unità idrogeologiche del modello così come descritte in legenda. Vista da sud-ovest.

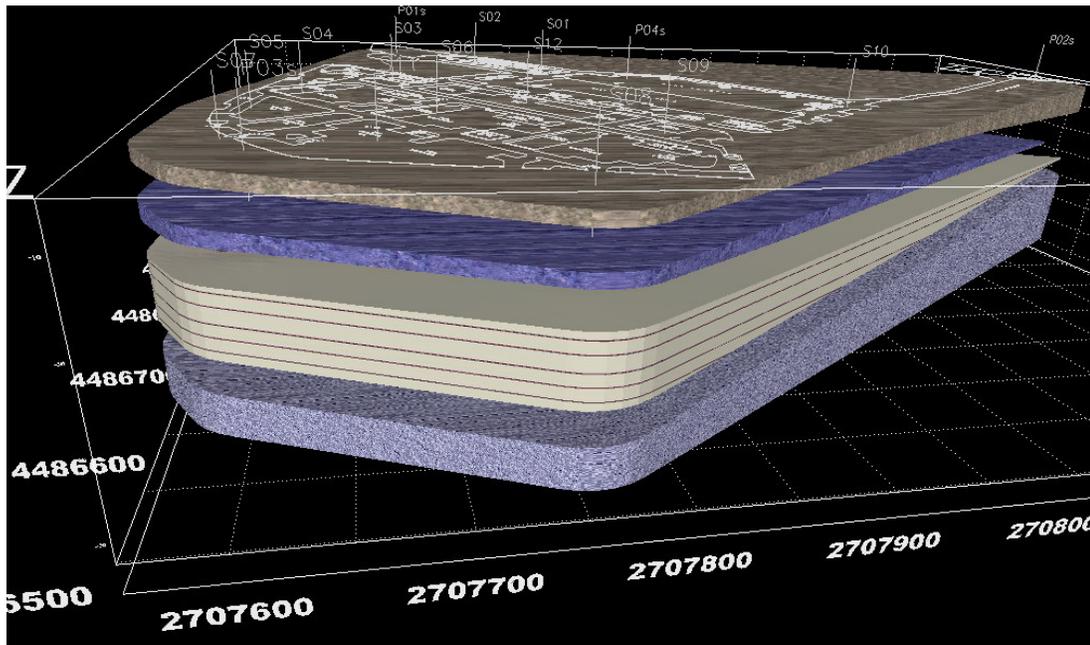


Figura 5.4: Modello idrogeologico del sottosuolo. Particolare dell'area a sud-ovest con separazione tra le unità idrogeologiche.

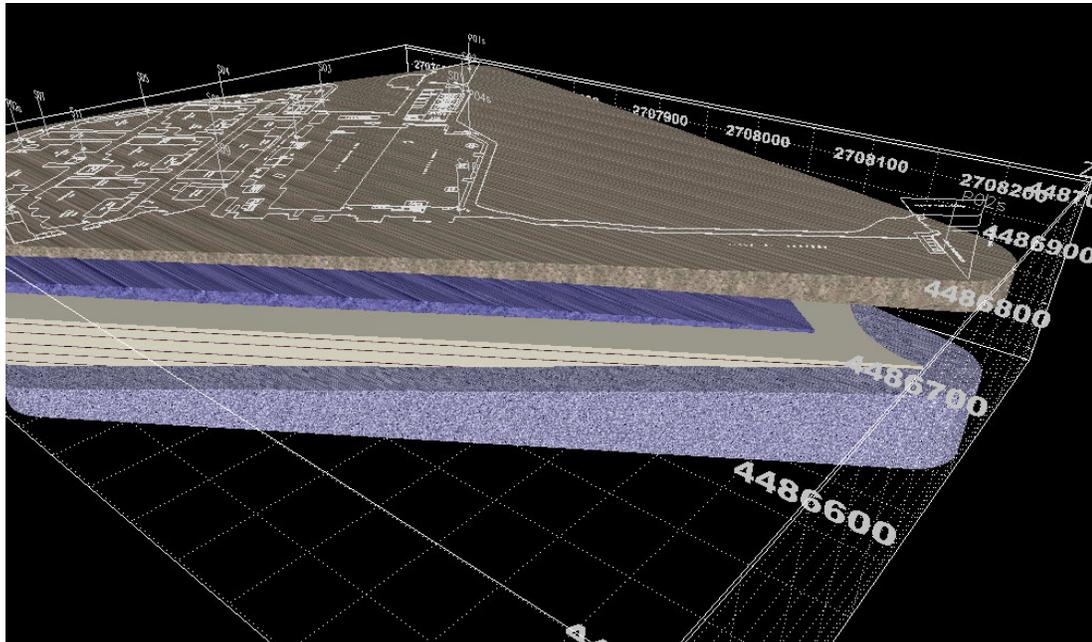


Figura 5.5: Modello idrogeologico del sottosuolo. Particolare dell'area a nord-est. Si nota l'assottigliamento delle argille e l'assenza della falda superficiale in corrispondenza del sondaggio P02s e la minor profondità della superficie di tetto dell'unità dei calcari.

I livelli piezometrici della falda superficiale si attestano su valori variabili tra gli 11,4 ed i 14,5 m s.l.m., corrispondenti a soggiacente da 7 a 2 m da p.c. Si noti che nel piezometro P02s non è stato possibile rilevare la piezometria durante le campagne di misurazione, in quanto non si è riscontrata presenza d'acqua a causa dell'assenza dell'orizzonte argilloso che sostiene la falda superficiale.

La superficie piezometrica relativa alla falda superficiale è visibile nelle Tavole 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, relative rispettivamente alle campagne di misurazione del 23/3/04, 07/04/04, 27/04/04, 14/05/04, 03/06/04, 18/06/04, 22/07/04, 27/09/04, 14/10/04 e 21/10/04.

La superficie piezometrica, così come rilevata nella prima campagna piezometrica del 23/03/04 (Tavola 57), mostra un punto di alto in corrispondenza del piezometro S06; la carta relativa alla seconda campagna piezometrica del 07/04/04 (Tavola 58) mostra dei punti di alto ubicati nei settori nordorientale e centrale dell'area indagata, generando una sorta di dorsale ad andamento nordest – sudovest ed un flusso di falda centripeto rispetto a tale struttura. Nel settore nord dell'area sono pertanto prevalenti direzioni di flusso verso nord, mentre in quello meridionale sono prevalenti i flussi verso sud, sudest.

Questo andamento si discosta in parte da quanto deducibile dai dati della terza campagna piezometrica 27/04/04 (Tavola 59), in base ai quali la zona di alto piezometrico assume un andamento est-ovest. Le direzioni di flusso risultano di conseguenza all'incirca verso nord nel settore settentrionale dello stabilimento e verso sud in quello meridionale. Le successive campagne di misurazione del 14/05/04, 03/06/04, 18/06/04, 22/07/04, 27/09/04, 14/10/04 e 21/10/04 (Tavole 60 - 66) mostrano un andamento molto simile, con un punto di alto in corrispondenza del piezometro S06, generando anche in questi casi una sorta di dorsale ad andamento nordest – sudovest ed un flusso di falda centripeto rispetto al piezometro. Da sottolineare la campagna di monitoraggio del 27/09/2004, nella quale, oltre al punto di alto piezometrico in corrispondenza di S06, è stato rilevato un secondo punto di alto in corrispondenza di S02. Ciò indica un'estrema variabilità nella falda superficiale, collegabile ai fenomeni di alimentazione meteorica ed alla mobilità differenziale all'interno dei sedimenti che costituiscono l'acquifero, disomogeneo dal punto di vista granulometrico. Sulla base dei dati disponibili e dei risultati delle indagini ambientali effettuate sull'area, la correlazione tra tali alti piezometrici e possibili perdite di acqua nei canali e/o nelle condutture interrato della centrale è ancora in fase di verifica. Non sono a disposizione dati relativi alla possibile presenza di pozzi di emungimento della falda ubicati nelle aree esterne al sito in esame.

Per la falda profonda, la ricostruzione della superficie piezometrica, visibile nelle Tavole 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, indica un deflusso generale verso sudest, ovvero in direzione della linea di costa. Tale andamento è in accordo con i dati regionali prodotti dall' Ufficio Cartografico della Regione Puglia (Figura 5.6).

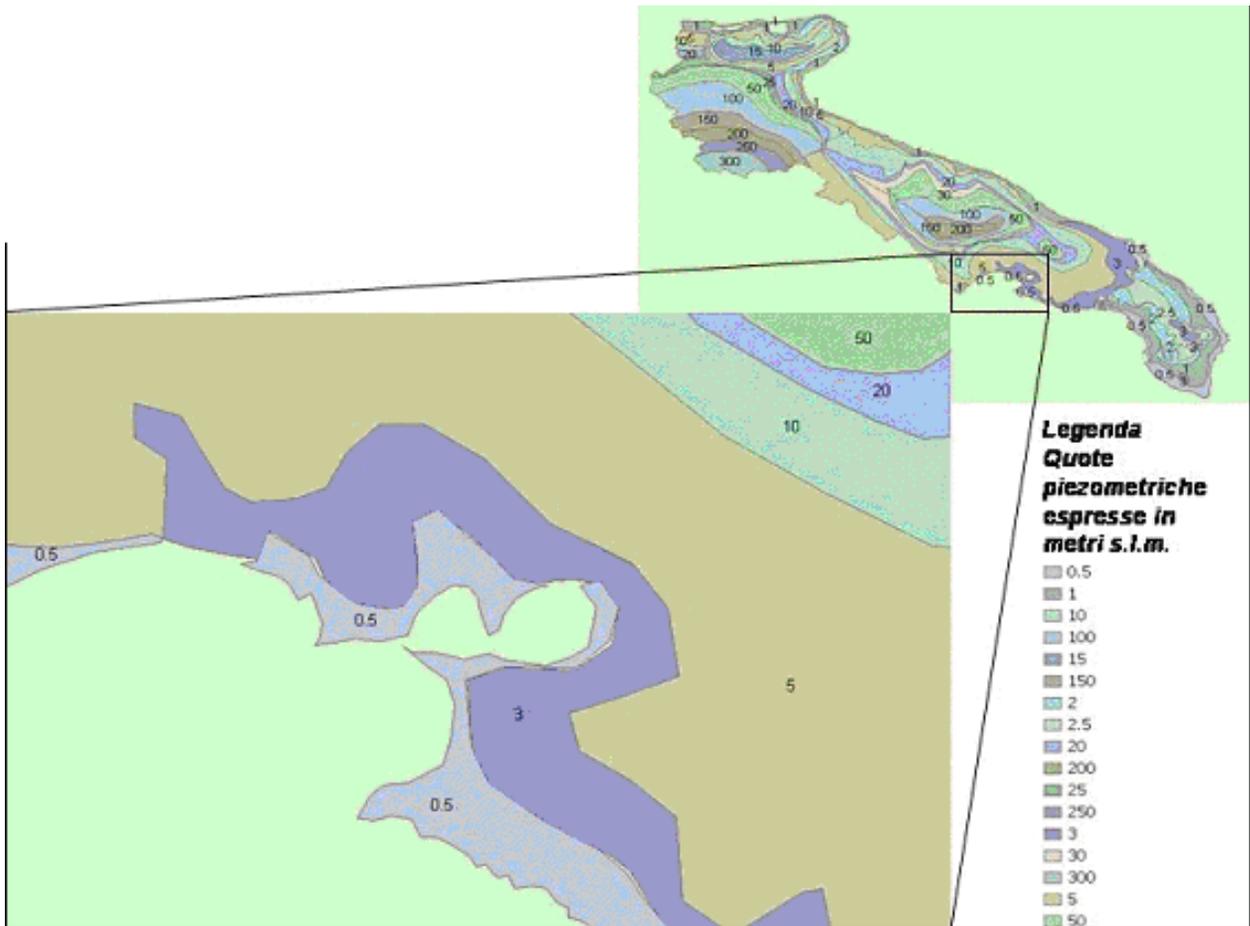


Figura 5.6: Carta delle curve isopiezometriche (Fonte: Ufficio Cartografico, Regione Puglia).

5.1.3.3 Vulnerabilità e idrochimica delle acque della falda superficiale e profonda

Sulla base di quanto esposto è importante sottolineare l'elevata vulnerabilità locale della falda freatica, da correlare alle seguenti caratteristiche dell'acquifero e della litologia superficiale:

- limitato valore di soggiacenza della falda freatica (tra 2 e 7 m da p.c.);
- possibilità di ricarica dell'acquifero profondo da parte di acque superficiali ed assenza di livelli impermeabili nella zona vadosa.

Al fine di verificare il grado di vulnerabilità dell'acquifero profondo, utilizzato per captazioni idropotabili, è stata analizzata la composizione chimica delle acque prelevate dai piezometri superficiali e da quelli

profondi presenti in sito, soprattutto per verificare l'effettiva distinguibilità chimica delle due acque e, di conseguenza, l'effettiva separazione dei due acquiferi. Si ricorda che nella porzione settentrionale dello stabilimento il livello argilloso che separa i due acquiferi e sostiene l'acquifero superficiale, si assottiglia molto e, in corrispondenza del piezometro P02p non è stato riconosciuto nella sua facies tipica (argilla plastica di colore verde), bensì nella facies sabbiosa e quindi non impermeabile. In corrispondenza dello stesso punto non è stata riscontrata acqua nell'acquifero superficiale.

La determinazione dei principali ioni disciolti [cationi: Ca(calcio), Mg(magnesio), Na(sodio), K(potassio), NH₄(ammonio); anioni: Cl(cloruro), SO₄(solfato), NO₃(nitrate), HCO₃+CO₃ (bicarbonato+carbonato), SiO₃ (silicato)] fornisce il quadro del contenuto salino naturale dell'acqua. Il contenuto salino che caratterizza il chimismo naturale di un'acqua di falda rispetto ad un'altra, o lo diversifica da quello di altre acque superficiali o più profonde è detto "facies idrochimica". I dati ottenuti dalle analisi chimiche devono essere espressi in equivalenti/litro e successivamente sono elaborati per ricostruire diagrammi che rendono più immediata l'identificazione delle facies, come i diagrammi di Piper.

L'analisi delle acque nel sito in oggetto è stata effettuata mediante diagrammi di Piper (1944). In tali diagrammi l'analisi chimica dell'acqua viene riassunta e rappresentata da un unico punto che in un grafico apposito intercetta coppie di valori cationici e anionici. E' così possibile identificare famiglie di acque e ricavare informazioni circa le principali tendenze evolutive. Nei diagrammi di Figura 5.7 sono rappresentate distintamente le acque provenienti da piezometri che intercettano le acque della falda superficiale e di quella profonda, mentre in Tabella 5.1 sono riportati i dati utilizzati per l'elaborazione.

Tabella 5.1: Dati relativi alle acque di falda (superficiale e profonda) utilizzati per l'elaborazione nel diagramma di Piper						
Analita	cloruri	solfati	calcio	magnesio	potassio	sodio
P02P_16-60	1450000	335000	79700	120000	29100	720000
P02P_20-00	1490000	344000	74600	126000	30300	752000
P03P_14-80	9750000	979000	860000	492000	91600	4450000
P03P_24-00	1300000	293000	217000	127000	27400	703000
P03S_03-60	1610000	248000	268000	32300	39300	992000
P03S_08-50	1990000	288000	124000	30300	33200	1240000
P04S_04-30	200000	98300	997000	42400	25000	211000
P04S_06-50	200000	98900	2030000	92800	37300	212000
P04P_16-30	282000	130000	125000	25900	19600	250000
P04P_19-00	305000	137000	38700	23800	19100	282000
S01_06-00	7390000	1120000	262000	306000	130000	3750000

Tabella 5.1: Dati relativi alle acque di falda (superficiale e profonda) utilizzati per l'elaborazione nel diagramma di Piper

Analita	cloruri	solfati	calcio	magnesio	potassio	sodio
S01_07-00	7420000	1140000	126000	314000	136000	3900000
S02_07-00	254000	35500	605000	86900	37100	157000
S02_08-00	197000	32000	104000	58500	28000	145000
S03_03-90	5240000	792000	151000	268000	89800	2810000
S03_05-00	5260000	780000	172000	245000	83300	2280000
S04_03-50	365000	123000	86300	32000	16400	252000
S04_05-00	341000	123000	35900	30600	16000	253000
S05_03-80	259000	58300	473000	44300	16800	56900
S05_07-00	317000	66400	150000	28000	14600	101000
S06_02-90	312000	99200	113000	11900	8140	230000
S06_06-00	629000	145000	88000	25600	9100	356000
S07_03-50	1200000	183000	199000	32100	21700	531000
S07_05-00	1330000	192000	143000	37300	21000	740000
S08_03-20	3220000	464000	434000	43000	100000	1620000
S08_07-00	5400000	793000	387000	134000	112000	2330000
S09_02-90	643000	161000	62400	20100	16400	340000
S09_05-00	899000	184000	43300	35200	22400	501000
S10_04-70	852000	160000	12500	31700	23800	399000
S10_07-50	815000	157000	22100	50500	24600	437000
S11_03-30	1360000	84300	132000	38200	61900	591000
S11_08-00	1430000	90400	212000	40300	58600	609000
S12_03-20	12100000	1750000	323000	605000	197000	5650000
S12_07-00	3390000	761000	145000	246000	95700	2460000

Digramma di Piper
Stabilimento ISE Taranto

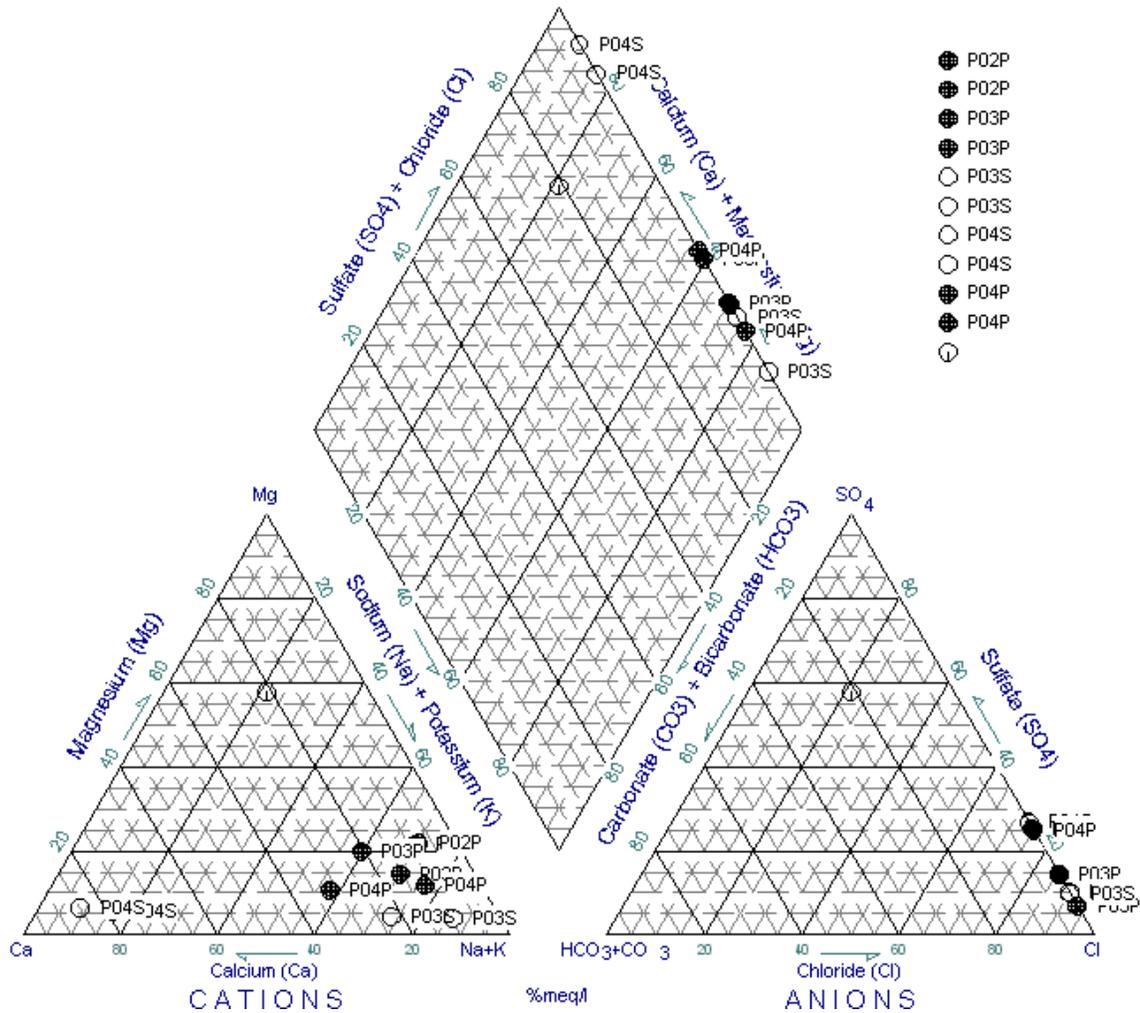


Figura 5.7: Diagramma di Piper per le acque dei piezometri P02p, P03s, P03p, P04s, P04p.

Dal punto di vista geochimico, le acque superficiali risultano molto variabili, dal momento che possono ricadere nella zona del tipo solfato – clorurato – alcalino - terrose (campioni P04s) oppure solfato – clorurato - alcaline (campioni P03s). In entrambi i casi, si tratta di acque con una bassa percentuale di Magnesio e molto ricche in Cloruri; sono infatti classificabili come acque saline (tenori in $Cl^- > 1000$ mg/l).

Le acque profonde si presentano invece più “stabili”, dal momento che il loro campo di esistenza è confinato nell’area delle acque solfato – clorurato - alcaline. Anch’esse risultano particolarmente ricche in Cloruri e sono classificabili come saline.

I dati rilevati sembrano quindi indicare un buon grado di separazione dei due acquiferi.

La contaminazione salina delle acque dell'acquifero profondo dell'area salentina è un fenomeno noto a livello regionale. La falda carsica tende a galleggiare sulle acque più dense d'intrusione marina; la superficie di separazione tra acque dolci e salate, a differente densità, è data da una fascia di transizione il cui spessore cresce all'aumentare della distanza dalla costa ed è funzione dello spessore dell'acquifero di acque dolci (Figura 5.8). La salinità totale raggiunge valori pari a 3 g/l nella fascia prossima alla costa (1-2 km), per poi decrescere fino a valori di 1 g/l ad una distanza di 6-7 km dalla medesima (M. Del Prete & T. Caggiano).

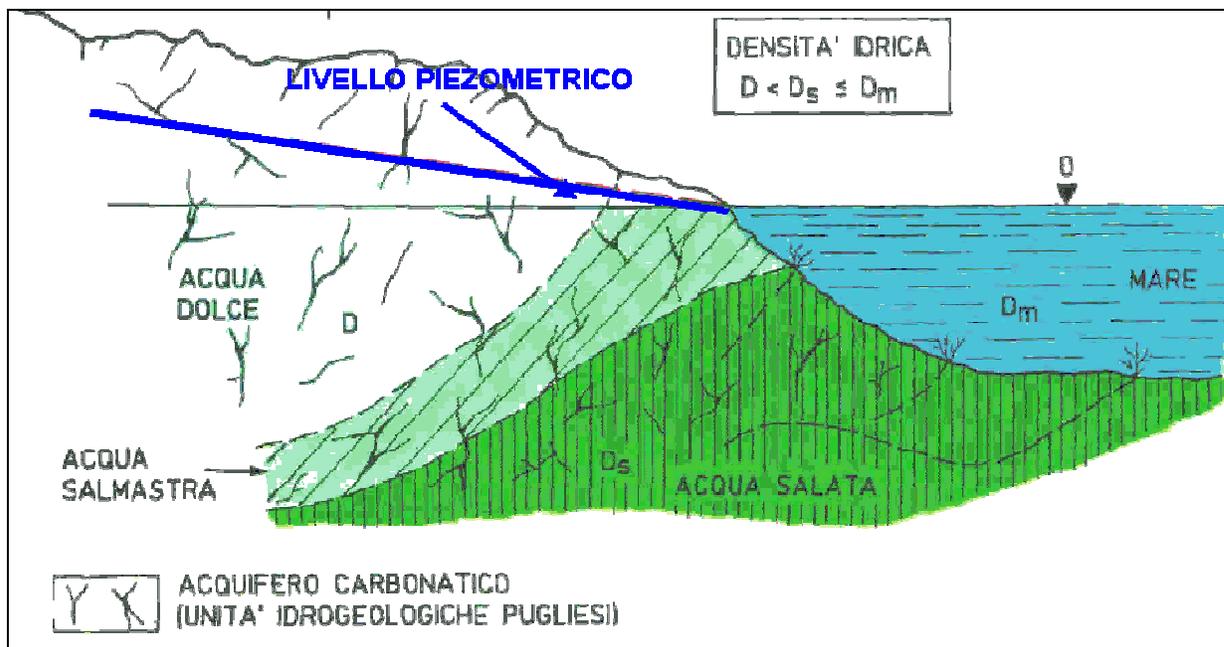


Figura 5.8: Rappresentazione schematica dell'intrusione marina. Fonte: Polemio M., Limoni P.P. (1998)

Dai dati riportati nel Piano Direttore della Regione Puglia si osserva l'andamento del cloroio in un pozzo dimesso dell'area in tarantina riportato nella sottostante Figura 5.9. Da tale rappresentazione emerge come il fenomeno in argomento sia in evoluzione e in che misura questo venga condizionato da periodi di crisi idrica, allorquando, ad una riduzione della naturale ricarica, si assommi un incremento di prelievi, come verificatosi in occasione della crisi idrica del 1982 e del periodo 88-90 caratterizzato da anni siccitosi.

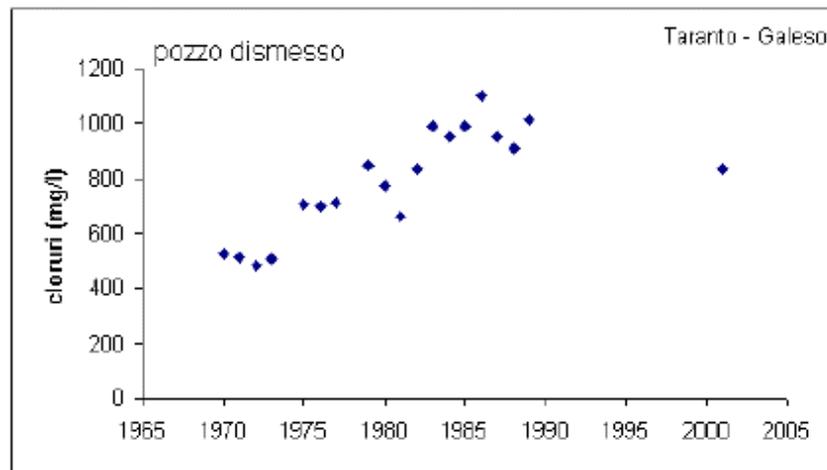


Figura 5.9: Concentrazione di cloroione in pozzi ad uso idropotabile. Fonte: Piano Direttore Regione Puglia, 2002.

Tale riscontro è in accordo coi dati di variazione isoalina noti in letteratura per la regione Puglia relativi agli anni 1981-1997, illustrati in Figura 5.10.



Figura 5.10: Variazioni della isoalina 0.5 g/l nelle province di Bari, Taranto, Brindisi e Lecce. Fonte: Polemio M., Limoni P.P. (1998)

Per quanto riguarda invece la contaminazione salina dell'acquifero superficiale, essa potrebbe essere correlata in parte alla natura litologica dei terreni attraversati ed alla loro originaria deposizione in ambiente marino, ed in parte al fenomeno delle brine marine che, sospinte dai venti, possono raggiungere anche zone a qualche chilometro di distanza dalla costa ed alterare la composizione chimica delle acque di precipitazione meteorica, direttamente alimentanti l'acquifero superficiale.

E' da notare che centrali CET2 e CET3 utilizzano acqua marina (proveniente dal Mar Piccolo) nel circuito secondario di raffreddamento; le acque entrano in sito tramite condutture in pressione di proprietà ILVA e fuoriescono tramite due canali interrati a pelo libero.

Tuttavia, sulla base dei dati disponibili e dei risultati delle indagini ambientali effettuate sull'area, la correlazione tra tali livelli salini nelle acque della falda superficiale e potenziali perdite nei canali e/o nelle condutture interrate dello stabilimento ISE è ancora in fase di verifica.

Lo schema delle principali linee interrate del circuito di raffreddamento delle centrali ISE è riportato in Tavola 4.

5.2 Stato di contaminazione delle matrici ambientali

5.2.1 Terreni insaturi

Nel periodo compreso tra il 10/02/2004 ed il 4/05/2004, ENSR Italia S.r.l. ha eseguito, per conto di ISE S.p.A., le indagini di caratterizzazione ambientali del sottosuolo. Nel corso delle attività d'indagine ambientale sono stati eseguiti un totale di n. 20 sondaggi, distinti in 16 sondaggi superficiali, spinti alla profondità di circa 8,5 m da p.c. e 4 profondi, spinti alla profondità indicativa di 30 m da p.c.

Per quanto riguarda la caratterizzazione ambientale dei terreni, dai n. 16 sondaggi superficiali, è stato prelevato un totale di n. 139 campioni di terreno ad intervalli di circa un metro di profondità. Per n. 50 campioni di terreno, relativi ai tre orizzonti di quota scelti per le analisi, sono stati ricercati un totale di 26 inquinanti o classi di composti: si è provveduto, cioè, ad analizzare, per ogni sondaggio, almeno un campione di terreno rappresentativo della qualità a quote superficiali (intorno al primo metro da p.c.), intermedie (intorno ai 4-6 m da p.c.) e profonde (intorno a fondo foro, tra 7-9 m da p.c.).

Sulla base delle indagini eseguite sono state evidenziate alcune criticità ambientali riportate nel paragrafo 4.1, relative ai campioni di terreno insaturo analizzati. Sono stati evidenziati, pertanto, tre classi di composti i cui valori eccedevano i limiti legislativi di riferimento, di seguito riportati:

Idrocarburi Pesanti: sondaggi P02s, P03s, S01, S08

Idrocarburi Totali: sondaggi P02s, P03s, P04s, S01, S02, S08

Rame: sondaggio S06

Considerando la totalità dei parametri ricercati e l'elevato numero dei campioni di terreno analizzati, la situazione della contaminazione del sottosuolo della centrale ISE di Taranto, appare, sulla base dei risultati d'indagine, confinata entro i primi metri di profondità dal piano campagna. La quasi totalità dei campioni di terreno con evidenze ambientali si attesta entro i primi 4-5 metri da p.c. Il sondaggio P02S, rappresenta in questo senso, un'eccezione presentando valori di contaminazione da Idrocarburi a quote più profonde, intorno ai 7-8 m da p.c. Tuttavia l'analisi dei campioni più superficiali (6-7 m da p.c.) e più profondi (8-8,5 m da p.c.), non ha mostrato alcuna evidenza di contaminazione. Allo stato attuale dei dati analitici disponibili, tale contaminazione sembra quindi delimitata ad un singolo orizzonte di terreno, e non risulta direttamente collegabile ad alcuna attività specifica della centrale ISE.

Ad eccezione del sondaggio P02S, che potrebbe costituire un'anomalia data la sua posizione decentrata e distante dalla centrale ISE, è da notare che le concentrazioni di idrocarburi massime riscontrate, sebbene superiori ai riferimenti normativi, non mostrano valori particolarmente elevati.

In Tavola 79 si riporta la ricostruzione tridimensionale della distribuzione della contaminazione da idrocarburi emersa a seguito delle indagini di caratterizzazione effettuate nell'area della centrale.

La contaminazione da idrocarburi risulta quindi limitata ad aree specifiche della centrale. In particolare, i sondaggi S01, S02, P04s sono ubicati nei pressi dei serbatoi di stoccaggio oli della centrale CET2, mentre la contaminazione riscontrata in P03s e S08, che risultano ubicati nella zona sud della centrale CET3, non appare direttamente collegabile ad alcuna attività effettuata nella centrale.

A seguito delle analisi per la ricerca dei metalli pesanti in tutti i terreni analizzati, il campione prelevato in S06, nei pressi della centrale termica di CET3, ha mostrato valori lievemente superiori al limite per il parametro Rame (si veda la Tavola 8). Tale dato analitico mostra un valore puntuale ed estremamente limitato di contaminazione che interessa il primo metro di terreno superficiale. Dai dati relativi al sondaggio S06, allo stato attuale, non è possibile delineare con esattezza l'eventuale contaminazione da Rame nei dintorni dell'area del sondaggio. In Tavola 79 è riportata una ricostruzione tridimensionale preliminare, effettuata sulla base dei risultati analitici sino ad ora disponibili, dell'area del sondaggio S06.

5.2.2 Acque di falda

Sulla base dei risultati delle analisi chimiche effettuate sui campioni prelevati nel corso delle prime tre campagne di indagine sulle acque sotterranee del 30/03/2004, 17/06/2004 e 27/09/2004, riportati nel Capitolo 4, sono state ricostruite con la tecnica GIS (vedere Appendice 2) le mappe di isoconcentrazione per i diversi contaminanti rilevati nelle acque dell'acquifero superficiale. Tali elaborazioni sono visibili nelle Tavole 12 - 56. In ciascuna Tavola è stato raffigurato sia lo stato di

contaminazione elaborato sulla base dei dati di campionamento superficiale (con bailer), sia quello riferito al campionamento con pompa sommersa. Le tavole suddette sono descritte in dettaglio al paragrafo 4.3.

I valori rilevati nei terreni insaturi, nella falda superficiale e nella falda profonda consentono la formulazione di osservazioni di carattere generale sulle sorgenti, le potenziali vie di migrazione, i potenziali recettori e le vie di esposizione dei contaminanti, riportate nei paragrafi seguenti.

5.3 Sorgenti e percorsi di potenziale migrazione dei contaminanti

Sulla base del modello idrogeologico formulato nel Paragrafo 5.1.3, il sottosuolo del sito indagato è sede di un acquifero superficiale freatico, alimentato dall'infiltrazione efficace delle precipitazioni e sostenuto per gran parte dell'estensione dell'area in oggetto da livelli argillosi praticamente impermeabili. L'acquifero superficiale risiede all'interno di materiali dotati di permeabilità primaria per porosità, ovvero nelle Calcareniti postcalabriere e nel materiale del riporto, ed è esteso fino alla base del livello argilloso-sabbioso presente alla sommità delle Argille subappenniniche. Le soggiacenze di tale falda sono dell'ordine di 2-7 m da p.c. Come precedentemente descritto, queste caratteristiche rendono l'acquifero superficiale particolarmente vulnerabile, in relazione all'assenza di una protezione verso l'alto da parte di livelli impermeabili ed alla limitata soggiacenza dell'acquifero stesso.

In generale, la diffusione della contaminazione dalle sorgenti (primarie e secondarie) alle matrici ambientali circostanti può avvenire attraverso i seguenti meccanismi di rilascio potenziali:

- Rilascio della frazione idrosolubile mediante lisciviazione: il fenomeno di rilascio è causato dalle acque meteoriche che, infiltrandosi nel terreno, attraversano lo strato di terreno insaturo eventualmente contaminato e prendono in carico la parte idrosolubile dei contaminanti presenti;
- Sospensione eolica del particolato, dispersione in atmosfera, ricaduta nelle aree circostanti;
- Rilascio per contatto diretto tra contaminanti adsorbiti nel terreno e le acque sotterranee durante la fluttuazione della superficie piezometrica.

Sulla base delle caratteristiche stratigrafiche ed idrogeologiche del sito e dei risultati rilevati durante le indagini di caratterizzazione, è possibile fare alcune considerazioni generali, descritte nei successivi paragrafi.

5.3.1 Terreni insaturi

Come descritto, la contaminazione riscontrata nei terreni insaturi risulta, dai dati ad oggi disponibili, limitata agli orizzonti più superficiali di terreno (entro 4 – 5 m da p.c.) in aree di hot spot in prossimità dei serbatoi di stoccaggio oli della centrale CET 2 e nella zona sud della centrale CET 3. Mentre la contaminazione rilevata in prossimità dei serbatoi di stoccaggio oli potrebbe essere direttamente correlata alle attività della centrale, non è possibile con i dati a disposizione identificare una potenziale sorgente di contaminazione diretta per l'area a sud della centrale CET 3.

Una potenziale migrazione verticale dei contaminanti riscontrati nel terreno insaturo verso la falda freatica potrebbe essere causata dalla diffusione nel sottosuolo causato dal dilavamento delle acque meteoriche, e dalla fluttuazione del livello di falda su porzioni di terreno/materiale contaminato. I dati a disposizione non consentono tuttavia di determinare in maniera univoca un diretto apporto alla falda da parte di questi terreni, poiché i superamenti riscontrati non sembrano correlarsi in maniera inequivocabile con la sorgente superficiale di contaminazione.

5.3.2 Acque di falda

5.3.2.1 Falda superficiale

Dal momento che il sito in questione è ubicato all'interno di un polo industriale ben più esteso, è da considerare la possibilità di un apporto di sostanze contaminanti alla falda superficiale da parte delle aree esterne al sito. La raccolta dei dati relativi all'intorno dello stabilimento in esame è stata eseguita presso le proprietà confinanti, il Comune di Taranto, la Regione Puglia, la Provincia di Taranto e l'ARPA. Al momento tuttavia non è stato possibile raccogliere dati sulla situazione delle matrici ambientali nelle aree circostanti il sito.

Non sono inoltre da escludere possibili apporti alla falda superficiale da parte di acque provenienti da strutture interrato. Tuttavia, interazioni tra la falda superficiale e le condutture interrate della centrale sono ancora da verificare. E' stato fino ad oggi verificato l'attraversamento del sito da parte di canali sotterranei di proprietà ILVA di adduzione di acque marine (provenienti dal Mar Piccolo), utilizzate successivamente come acque di raffreddamento nelle centrali CET2 e CET3. Lo schema di tali condutture è riportato in Tavola 4. Sulla base dei risultati delle analisi effettuate su tali acque in entrata ed in uscita rispetto al sito stesso, è stato possibile verificare nelle acque la presenza in concentrazioni non trascurabili dei seguenti parametri: Solfati, Ferro, Alluminio, Cromo Totale, Manganese, Nichel, Piombo, Diossine e Furani. Per tali contaminanti, le concentrazioni rilevate nei campioni di acque in ingresso (W06, W08 e W10) ed in uscita dallo stabilimento (W07 e W09) risultano paragonabili, escludendo pertanto un apporto di contaminanti da parte delle centrali CET2 e CET3. I dati a disposizione non sono tuttavia sufficienti a correlare in maniera univoca l'apporto di acqua dalle tubazioni ILVA con la contaminazione della falda superficiale.

La contaminazione riscontrata nelle acque della falda superficiale potrebbe essere messa in relazione anche ad apporti provenienti dai terreni insaturi sovrastanti, all'interno dei quali i contaminanti possono subire fenomeni di lisciviazione ad opera di acque percolanti e, successivamente, seguire percorsi di percolazione verticale dalla zona insatura fino alla frangia capillare e da qui in falda. Nonostante l'area dello stabilimento sia in buona parte pavimentata, con conseguente riduzione della superficie d'infiltrazione, infatti, possono essersi verificati fenomeni di ruscellamento sulle coperture stesse e successiva infiltrazione naturale di acque nelle aree non coperte attraverso gli strati permeabili del riporto, oppure infiltrazione attraverso rotture e fessure della pavimentazione stessa. Tali acque potrebbero aver veicolato eventuali sostanze contaminanti verso la falda superficiale. Le indagini svolte in sito sulla matrice terreno, sintetizzate al paragrafo 4.1, indicano una contaminazione molto limitata arealmente per il parametro Rame (rilevato in concentrazioni superiori al limite del D.M. 471/99 solo nel punto d'indagine S06) ed una più diffusa per Idrocarburi petroliferi pesanti (C>12) e totali. Tali dati escluderebbero un apporto significativo di contaminanti dai terreni insaturi nell'area in esame alla falda superficiale; tuttavia il percorso di lisciviazione e successiva percolazione di contaminanti dal terreno insaturo non può essere, in questa fase d'indagine, essere escluso a priori.

5.3.2.2 Falda profonda

Per quanto riguarda la falda profonda, lo stato di contaminazione accertato va messo in relazione in prima battuta alla riduzione della protezione dell'acquifero esercitata dalla bancata di argille, che verso nord si riduce sensibilmente, fino a sparire, così come evidenziato nelle sezioni stratigrafiche nelle Tavole 78.a e 78.b. Ciò rende anche la falda profonda estremamente vulnerabile alla contaminazione proveniente dalla falda superficiale dell'intero polo industriale di Taranto.

Ove il corpo pelitico ha uno spessore sufficiente a garantire la protezione dell'acquifero sottostante, la connessione tra l'acquifero superficiale e quello profondo sembrerebbe, in via preliminare, da escludere; le indagini geochimiche indicano, infatti, una differenziazione tra le due tipologie di acque. Non si dispongono tuttavia dati sufficienti che verifichino il grado di protezione dell'acquifero profondo. Potenziali discontinuità del banco pelitico, causate dall'attraversamento di fondazioni delle strutture poggianti sul basamento lapideo o da eventuali pozzi per l'approvvigionamento idrico ubicati all'esterno dell'area ISE, potrebbero influire sulla vulnerabilità della falda profonda.

L'apporto di eventuali contaminanti legati alla potenziale commistione delle acque del Mar Piccolo con le acque della falda profonda non può essere escluso a priori, soprattutto nella fascia prossima alla costa (1-2 km di distanza) ed in relazione a forti prelievi idrici. Tale fenomeno potrebbe interessare maggiormente le tipologie di inquinanti più mobili per caratteristiche chimico-fisiche.

5.4 Potenziali recettori e vie di esposizione dei contaminanti

Di seguito sono descritti i potenziali bersagli delle acque della **falda superficiale**:

- Pozzi di captazione utilizzati a fini irrigui o industriali: le acque eventualmente captate da tali pozzi e la contaminazione ad esse associata potrebbero essere diffuse sui terreni circostanti, impattando di conseguenza le coltivazioni ed i futuri fruitori (recettori umani e animali); ad oggi non sono disponibili dati su pozzi di captazione esterni all'area ISE.
- Recettori umani presenti in sito e nelle aree circostanti: in tal caso si considera potenzialmente attivo il percorso di inalazione vapori da parte di recettori on site, al quale potrebbero contribuire alcuni contaminanti delle acque di falda caratterizzati da elevata volatilità. Si ricorda che la soggiacenza da piano campagna della falda superficiale è molto bassa, ed alcuni locali delle centrali in oggetto, in occasione di oscillazioni della stessa, sono ubicati al di sotto del livello di falda. Tali locali non sono tuttavia di norma frequentati dai lavoratori, e sono installati negli stessi appositi dispositivi di pompaggio per l'allontanamento delle eventuali infiltrazioni. Non si hanno tuttavia a disposizione dati su potenziali recettori presenti nelle aree circostanti.
- Acque dell'acquifero profondo: tale bersaglio deriva dalla mancanza nella porzione settentrionale del sito della bancata argillosa separante i due acquiferi e dalla conseguente vulnerabilità dell'acquifero profondo.

Di seguito sono descritti i potenziali bersagli delle acque della **falda profonda**:

- Pozzi di captazione utilizzati a fini idropotabili o industriali: la falda profonda è potenzialmente intercettata localmente da pozzi utilizzati per la captazione di acque destinate al consumo umano, oltre che industriale. Quindi la contaminazione potrebbe, potenzialmente, raggiungere dei recettori umani interno o esterni al sito tramite il percorso di ingestione. Si ricorda che i nuclei abitativi più prossimi al sito sono rappresentati dai quartieri e dalle frazioni periferiche della città di Taranto: dal "Rione Tamburi" (a circa 2 km a sud) e dal "Quartiere Paolo VI" (a circa 4,5 km a nord est). Il paese di Statte si trova invece a circa 5 km a nord dell'area in oggetto. Per ciò che attiene alla popolazione, sull'area industriale di Taranto gravita un numero di addetti stimabile in 12.000 unità giornaliere. La città conta circa 208.000 abitanti, i citati "Rione Tamburi" e "Quartiere Paolo VI", rispettivamente, 18.000 e 19.000 abitanti e Statte circa 15.000 abitanti. Ad oggi non sono disponibili dati su pozzi di captazione nei dintorni dell'area in esame.
- Mar Piccolo: il sito è ubicato ad una distanza di circa 2,4 km in direzione nord ovest del Mar Piccolo. La direzione di flusso della falda profonda è verso il Mar Piccolo; ne consegue che esso rappresenta un potenziale bersaglio della contaminazione che interessa la falda stessa.

Sulla base di quanto riportato nello studio "Circolazione nel Mar Piccolo di Taranto su scala sinottica locale" (Università degli Studi di Genova, CdL Scienze Ambientali, Aprile 2003, Genova), si nota che le acque poco movimentate e scarsamente profonde del Mar Piccolo, risultano già pesantemente impattate dall'attività e dagli scarichi agricoli, industriali e urbani della zona di Taranto. In esso confluiscono 14 scarichi urbani in gran parte privi di impianti di depurazione e molti scarichi industriali che contribuiscono a fenomeni di eutrofizzazione e di inquinamento batteriologico (presenza di coliformi, streptococchi e clostridi solfito-riduttori) e chimico (concentrazioni elevate di nitrati, fosfati, metalli pesanti nei sedimenti del fondo, ossidi di stagno, fenoli, cianuri e idrocarburi policiclici aromatici).

Per l'individuazione e l'ubicazione di pozzi ad uso irriguo, industriale o idropotabile pescanti dalla falda superficiale e dalla falda profonda, sono stati contattati il Comune di Taranto, la Provincia, l'ARPA locale, ma ad oggi non sono stati forniti dati al riguardo.

6.0 CONCLUSIONI

Nel periodo tra il 10/02/2004 ed il 4/05/2004, ENSR Italia S.r.l. ha eseguito, per conto di ISE S.p.A., le indagini di caratterizzazione ambientali del sottosuolo, sulla base di quanto contenuto nel documento “*Piano di Caratterizzazione - Relazione Tecnica Descrittiva*”, redatto dal Dr. Ing. C. Fornaro e dal Dr. Geol. C. Altavilla per conto di ISE S.p.A., e delle integrazioni al piano apportate durante la riunione tecnica con Provincia di Taranto ed ARPA Puglia tenutasi in data 28/01/2004. (cfr. Documento ENSR R.1/11048008 “Indagini di Caratterizzazione Ambientale del sottosuolo del sito ISE di Taranto, Protocollo d’indagine, Febbraio 2004).

Nel corso delle attività di caratterizzazione sono stati eseguiti un totale di n. 20 sondaggi ambientali, distinti in 16 sondaggi superficiali, spinti alla profondità di circa 8,5 m da p.c. e 4 profondi, spinti alla profondità indicativa di 30 m da p.c. Tutti i sondaggi sono stati attrezzati con tubi piezometrici per il monitoraggio rispettivamente dell’acqua della falda superficiale e della falda profonda. Sono stati avviati ad analisi chimica di laboratorio n. 42 campioni di acque di falda superficiale (tre campagne di monitoraggio); n. 9 campioni di acque di falda profonda (tre campagne di monitoraggio); n. 5 campioni di acque prelevati da circuiti di raffreddamento. Sono state, inoltre, effettuate alcune prove specifiche per la determinazione dei parametri idrogeologici e del coefficiente di permeabilità dell’acquifero superficiale.

Per quanto riguarda la caratterizzazione ambientale dei terreni, dai n. 16 sondaggi superficiali, è stato prelevato un totale di n. 139 campioni di terreno ad intervalli di circa un metro di profondità. Per n. 50 campioni di terreno, relativi ai tre orizzonti di quota scelti per le analisi, sono stati ricercati un totale di 26 inquinanti o classi di composti: si è provveduto, cioè, ad analizzare, per ogni sondaggio, almeno un campione di terreno rappresentativo della qualità a quote superficiali (intorno al primo metro da p.c.), intermedie (intorno ai 4-6 m da p.c.) e profonde (intorno a fondo foro, tra 7-9 m da p.c.). In corrispondenza di punti di suolo senza coperture superficiali, sono stati prelevati ed analizzati n. 5 campioni di *top soil*, rappresentativi dei primi dieci centimetri circa di terreno a livello del p.c.

In una fase successiva è stato eseguito il prelievo e l’analisi di n. 5 campioni delle acque industriali dalle linee di raffreddamento delle centrali CET2 e CET3 in entrata ed in uscita dal sito ISE, allo scopo di caratterizzare le acque di processo e definirne la qualità e le caratteristiche chimico-fisiche.

A partire dalla fine del mese di Marzo 2004 sono state effettuate, con cadenza quindicinale, misure della soggiacenza di falda in tutti i nuovi piezometri installati all’interno dell’area della centrale allo scopo di determinare l’andamento del flusso delle acque sotterranee della falda superficiale e profonda.

Sulla base dell’insieme dei dati relativi dalle indagini di caratterizzazione ambientale sopra descritti, la limitata documentazione messa a disposizione dagli enti di controllo territoriale, l’ARPA e la Regione

Puglia e la bibliografia specifica consultata, è stato elaborato un “modello concettuale” dell’area in oggetto, con l’identificazione delle criticità ambientali, delle vulnerabilità e dei possibili flussi di migrazione delle sostanze attraverso il mezzo acquoso. Sono stati identificati, infine, una serie di potenziali “bersagli” che potrebbero potenzialmente subire impatti a seguito di diffusione o dispersione della contaminazione dalle sorgenti (primarie e secondarie) alle matrici ambientali circostanti.

Sulla base dei dati piezometrici raccolti è stato possibile confermare l’esistenza in sito dei due acquiferi sovrapposti: il primo, freatico, ubicato all’interno delle Calcareniti postcalabriere e nel materiale del riporto ed esteso fino alla base del livello argilloso-sabbioso presente alla sommità delle Argille subappenniniche, il secondo, profondo, ubicato nei carbonati mesozoici.

A seguito delle campagne di misurazione della superficie piezometrica presso l’area della centrale ISE, sembrerebbe emergere un andamento della direzione di flusso della falda superficiale approssimativamente verso nord nel settore settentrionale della centrale e verso sud in quello meridionale. Tuttavia, le campagne di misurazione non mostrano un andamento del tutto concorde e si evidenzia, dai dati disponibili, un’elevata variabilità nell’andamento della falda superficiale, collegabile a fenomeni di alimentazione meteorica, alla mobilità differenziale all’interno dei sedimenti sede dell’acquifero, che hanno caratteristiche disomogenee dal punto di vista granulometrico, ed a potenziali emungimenti ad opera di pozzi ubicati nelle aree circostanti lo stabilimento ISE.

In generale, quindi, si tratta di una falda con potenzialità molto ridotta e piuttosto instabile. È importante osservare, inoltre, che lo spessore della falda si riduce fino ad annullarsi nei punti d’indagine dove è stata riscontrata una netta diminuzione dello spessore delle Argille subappenniniche, che rappresentano la base impermeabile dell’acquifero stesso. Da quanto descritto nel presente documento emergerebbe, dunque, un’elevata vulnerabilità locale della falda freatica, da correlare al limitato valore di soggiacenza della falda ed alla possibilità di ricarica dell’acquifero da parte di acque superficiali caratterizzate dall’assenza di livelli impermeabili nella zona vadosa.

Per quanto riguarda la falda profonda, a seguito delle campagne periodiche di misura della piezometria, si evidenzia un andamento concorde con la direzione di flusso regionale, verso sud ovest, in direzione del Mar Piccolo. Lo stato di contaminazione rilevato in tali acque potrebbe essere messo in relazione, in prima battuta, alla riduzione della protezione dell’acquifero esercitata dalla bancata di argille, che verso nord si riduce sensibilmente, fino a sparire.

Relativamente lo stato qualitativo dei **terreni insaturi**, è stata riscontrata una contaminazione da Idrocarburi Pesanti ($C>12$) limitata agli orizzonti più superficiali di terreno (entro 4 – 5 m da p.c.) costituiti principalmente da materiale eterogeneo di riporto, in aree di limitata dimensione in prossimità dei serbatoi di stoccaggio oli della centrale CET 2 e nella zona sud della centrale CET 3. È stato riscontrato inoltre un singolo superamento del limite stabilito dal D.M. 471/99 per il Rame, in corrispondenza del punto d’indagine S06.

Tutti i campioni relativi ai *top soil* mostrano invece valori di concentrazione dei contaminanti analizzati inferiori ai limite normativi di riferimento previsti dal D.M. 471/99.

I risultati analitici relativi ai campioni di acque di **falda superficiale** hanno evidenziato concentrazioni superiori ai limiti normativi relativamente a Cianuri, Solfati, Metalli, PCB, PCDD, PCDF, Composti Organici Aromatici e Policiclici Aromatici. In generale, la contaminazione ascrivibile ai metalli appare distribuita nell'acquifero superficiale in un'area dello stabilimento estesa in direzione NE-SO. Per quanto riguarda Diossine e Furani, i dati analitici indicano un superamento dei limiti previsti dal D.M. 471/99 nella porzione SO del sito.

Per il parametro Benzene, l'unico tra i Composti Organici Aromatici che abbia mostrato superamento dei limiti del D.M. 471/99, i risultati analitici evidenziano valori di concentrazione superiori al limite previsto dal D.M. 471/99 nella porzione SO dello stabilimento. E' da sottolineare tuttavia che durante l'ultima campagna di monitoraggio delle acque di falda (27/09/2004) non sono stati rilevati campioni superiori al limite di legge per il benzene.

Viene rilevata, inoltre, una criticità ambientale legata alla presenza di PCB nelle acque della falda superficiale, per i quali si osserva un hot spot di contaminazione ubicato nel settore O-NO dello stabilimento, dove si registrano concentrazioni superiori di 1-2 ordini di grandezza rispetto al limite previsto dal D.M. 471/99.

Infine, si è rilevata la presenza di inquinanti inorganici che mostrano concentrazioni elevate e diffuse in tutta l'area dello stabilimento, nel caso dei Solfati, mentre si è rilevata una contaminazione ad hot spot per quanto riguarda i Cianuri ed i Nitriti.

In relazione alle analisi di qualità delle acque della **falda profonda**, i risultati hanno evidenziato nei concentrazioni superiori ai limiti normativi in corrispondenza dei punti di campionamento P02p P03p e P04p, relativamente a Solfati, Metalli, PCB e Benzene (quest'ultimo non riscontrato superiore ai limiti di legge nelle campagne di indagine del 17/06/2004 e del 27/09/2004). Si osserva una contaminazione diffusa delle acque dell'acquifero profondo relativamente ai parametri Solfati e Ferro, mentre localmente sono stati rilevati in concentrazioni superiori ai limiti del D.M. 471/99 alcuni metalli (Arsenico, Manganese, Nichel, Piombo) e PCB (quest'ultimo non rilevato in concentrazioni superiori al limite di legge nella campagna di monitoraggio del 27/09/2004).

E' da segnalare inoltre sia nella falda superficiale che nella falda profonda la presenza in concentrazioni significative di coliformi totali, non normati dal D.M. 471/99.

Infine, le analisi dei campioni di acqua, proveniente direttamente dal Mar Piccolo, prelevati dalle condutture interrato in entrata ed in uscita dal circuito di raffreddamento delle centrali, mostrano concentrazioni non trascurabili relativamente a molti parametri riscontrati in concentrazioni significative nelle acque della falda superficiale.

A conclusione di quanto descritto, la diffusione della contaminazione dalle sorgenti (primarie e secondarie) alle matrici ambientali circostanti può avvenire attraverso diversi meccanismi di rilascio potenziali: rilascio della frazione idrosolubile mediante lisciviazione, sospensione eolica del particolato e ricaduta nelle aree circostanti, rilascio per contatto diretto tra contaminanti adsorbiti nel terreno e le acque sotterranee durante la fluttuazione della superficie piezometrica.

È da considerare che il sito ISE risulta ubicato all'interno di un polo industriale ben più esteso, e non si esclude la possibilità di un apporto di sostanze contaminanti alla falda superficiale da parte delle aree esterne al sito. Al momento, non è stato possibile raccogliere dati sulla situazione delle matrici ambientali nelle aree circostanti il sito.

Non si hanno, inoltre, dati sufficienti a mettere in correlazione possibili apporti alla falda superficiale da parte di acque provenienti da strutture interraste. È da considerare che una limitata mobilità della falda superficiale non consentirebbe un rapido ricambio delle acque e potrebbe pertanto favorire meccanismi di concentrazione di eventuali sostanze immesse. Ad oggi, tuttavia, non si dispone di dati sufficienti ad avvalorare, con sufficiente certezza, tali ipotesi.

Sulla base delle ipotesi fatte all'interno del presente studio, si evidenziano alcuni potenziali "bersagli" legati al tipo di contaminazione riscontrata nelle acque di falda. In particolare, si evidenziano possibili criticità legate al contatto tra i contaminanti ed i pozzi di captazione utilizzati a fini irrigui, industriali o idropotabili eventualmente presenti nei dintorni dell'area. Anche i recettori umani presenti in sito potrebbero, in linea teorica, entrare in contatto con i contaminanti caratterizzati da elevata volatilità presenti in falda superficiale.

In ultimo, il Mar Piccolo risulta ubicato idrogeologicamente a valle della centrale ad una distanza di circa 2,4 km in direzione sud-est. Anch'esso, sebbene non vi siano dati a conferma di tale ipotesi, potrebbe essere considerato un potenziale bersaglio dei contaminanti riscontrati nella falda freatica. Si ricorda, tuttavia, che, sulla base di quanto riportato nello studio "Circolazione nel Mar Piccolo di Taranto su scala sinottica locale" (Università degli Studi di Genova, CdL Scienze Ambientali, Aprile 2003, Genova), le acque del Mar Piccolo risultano già pesantemente impattate dall'attività e dagli scarichi agricoli, industriali e urbani della zona di Taranto e presentano concentrazioni elevate di nitrati, fosfati, metalli pesanti nei sedimenti del fondo, ossidi di stagno, fenoli, cianuri e idrocarburi policiclici aromatici.

Alla luce di quanto evidenziato nelle indagini, si riportano le seguenti considerazioni conclusive:

- Sulla base delle campagne di misura piezometrica, si assume una elevata variabilità nelle caratteristiche dinamiche della falda superficiale, soggetta a variazioni frequenti per quanto riguarda la direzione di flusso e lo spessore dell'acquifero. La falda profonda, con caratteristiche più costanti, risulta distinta da quella superficiale dove lo spessore degli strati argillosi che sostengono quest'ultima rimangono abbastanza consistenti.

- Non sono state identificate all'interno del sito ISE sorgenti puntuali di contaminazione o processi produttivi che presentano elevate criticità o potenziali impatti sul sottosuolo e sulle acque di falda. La contaminazione da idrocarburi pesanti (C>12) riscontrata nel terreno insaturo nel settore N del sito, pur correlabile con l'area di stoccaggio oli combustibili della centrale CET 2, si presenta limitata verticalmente ed estremamente localizzata.
- Non è stata riscontrata una diretta correlazione tra la contaminazione rilevata nel terreno insaturo, puntuale e caratterizzata dalla sola presenza di Idrocarburi Pesati (C>12) e Rame, e la contaminazione diffusa presente nella falda superficiale.
- Non si rileva la presenza di bersagli interni al sito in oggetto, fatta eccezione per le acque di falda superficiale. Non si hanno dati attendibili riguardo l'ubicazione di pozzi pubblici, privati a scopo irriguo, idropotabile o industriale.

In conclusione, lo stato di criticità relativo alla falda superficiale ed alla falda profonda non è tale da giustificare un immediato intervento, quale una messa in sicurezza d'emergenza, del sottosuolo della centrale ISE.

Il contesto altamente industrializzato in cui è inserito il sito in esame, la complessità geologica ed idrogeologica del sottosuolo e dello stato qualitativo delle matrici ambientali indagate, rende necessaria l'integrazione della presente indagine con dati derivanti dalla caratterizzazione delle aree circostanti, in modo da ottenere una serie di dati sufficienti per l'elaborazione di un modello concettuale consistente con i meccanismi di diffusione già in atto.

APPENDICE 1: Elaborazioni 3D (Environmental Visualization System)

Ricostruzione dell'andamento della falda superficiale nello spazio 3D

Al fine di ricostruire il modello idrogeologico del sottosuolo dello stabilimento ISE, sono state elaborate le stratigrafie ricavate durante l'esecuzione dei piezometri S1÷S12, P01s÷P04s e P01P÷P04P installati all'interno dell'area in oggetto (la stratigrafia e lo schema strutturale di ogni piezometro sono riportati in Allegato 2). La modellizzazione dell'andamento della falda superficiale si basa, infatti, sulla dettagliata ricostruzione della geologia locale ottenuta attraverso i sondaggi realizzati durante la campagna di Febbraio-Marzo 2004.

Sono state, inoltre, prese in considerazione le letture piezometriche registrate durante le campagne di monitoraggio delle acque sotterranee effettuate tra Marzo e Giugno 2004.

La costruzione del modello idrogeologico tridimensionale del sottosuolo dell'area, è stata effettuata attraverso una prima fase di elaborazione dei dati geologici e freaticometrici in accordo con quanto riportato nei paragrafi 4.1 e 5.1.2.1, ed una seconda fase nella quale tali dati sono stati rappresentati graficamente attraverso l'utilizzo del software EVS (Environmental Visualization System).

Elaborazione dati

I dati dei log stratigrafici dei 20 piezometri presenti in sito, riportati in Allegato 2, e delle sezioni stratigrafiche delle Tavole 78.a e 78.b, sono stati riportati in una tabella riassuntiva unitamente alle misure freaticometriche misurate in tutti i piezometri eseguiti durante la campagna di monitoraggio del 27 aprile 2004. Questa tabella riassuntiva, i cui dati verranno, come descritto in seguito, gestiti da un database relazionale, contiene tutti i dati provenienti dalle indagini e dalle misurazioni di campo.

Mettendo in relazione gli orizzonti stratigrafici appartenenti a medesime formazioni geologiche rilevati nei sondaggi eseguiti, si è creata una correlazione tra i dati stratigrafici in modo da ottenere una stima dell'estensione areale e verticale dei differenti orizzonti stratigrafici, nei diversi punti del sottosuolo dello stabilimento ISE.

In particolare, è stato creato un modello idrogeologico del sottosuolo suddividendo le unità stratigrafiche presenti in ciascuno dei 16 sondaggi superficiali e dei 4 sondaggi profondi in tre unità idrogeologiche principali, sulla base delle considerazioni riportate nel paragrafo 5.1.2.1:

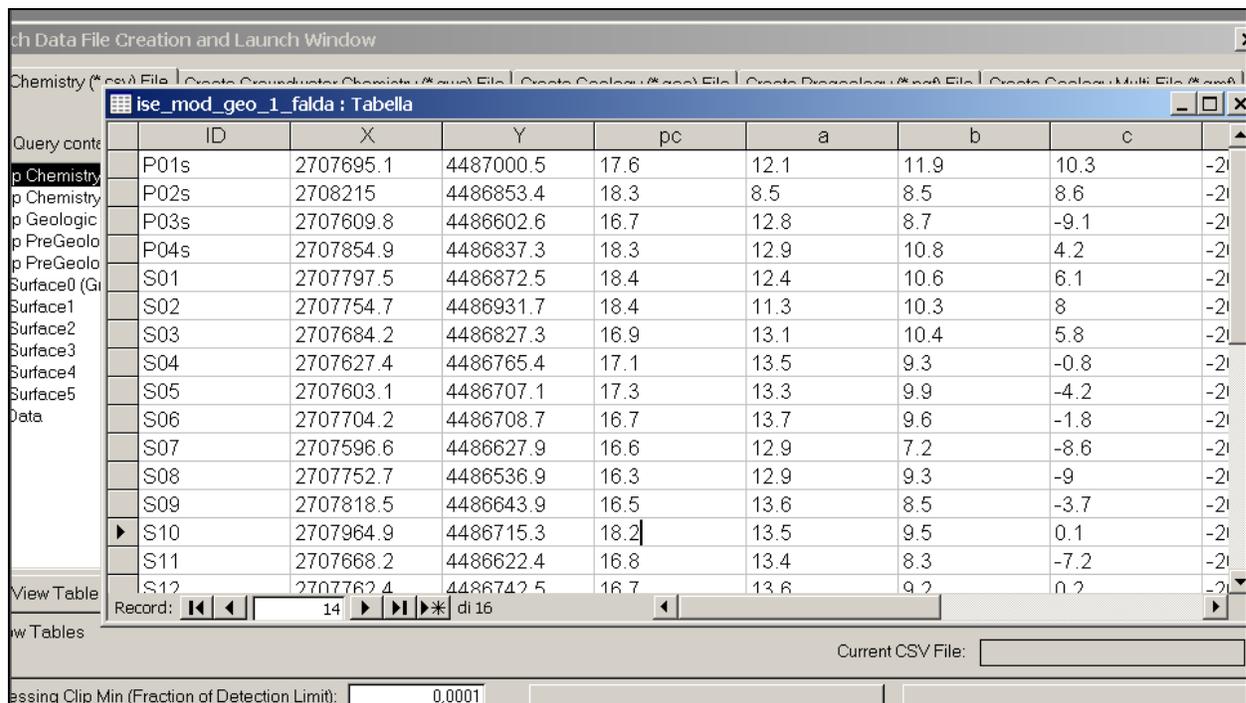
Terreno superficiale saturo ed insaturo. Comprende la porzione di terreno più superficiale che va da piano campagna al tetto dei primi strati argillosi. Comprende il terreno di riporto superficiale e le Calcareniti di M. Castiglione. Questo livello è la sede dell'acquifero freatico.

Terreno a bassa permeabilità. E' costituito dalle Argille Subappenniniche che costituiscono la base dell'acquifero freatico ed il tetto dell'acquifero profondo ove esso risulti confinato.

Terreno profondo costituito da calcari e calcareniti: E' la sede dell'acquifero profondo ed è costituito dai Calcari di Altamura e dalle Calcareniti di Gravina.

L'unità più superficiale è stata suddivisa in due sub-unità sulla base dei dati freaticometrici della falda superficiale. Si è arrivati così alla definizione di quattro livelli che costituiscono, partendo dal piano campagna ed approfondendosi verso il basso, il terreno insaturo superficiale, il terreno saturo sede dell'acquifero freatico, lo strato di argille a bassa permeabilità e lo strato dei calcari e delle calcareniti fessurate che costituiscono la sede dell'acquifero profondo.

I dati calcolati sono stati organizzati grazie ad un database relazionale specifico prodotto dalla ditta CTech Development Corporation che utilizza il programma Access di Microsoft. In Figura App.1.1 è riportato un esempio di tabella dati. Ogni punto di indagine viene organizzato in una stringa di dati ("record") contenente le informazioni spaziali (coordinate Gauss Boaga), l'identificativo del sondaggio, le quote del piano campagna e della profondità dei quattro livelli che costituiscono il modello.



ID	X	Y	pc	a	b	c	
P01s	2707695.1	4487000.5	17.6	12.1	11.9	10.3	-2
P02s	2708215	4486853.4	18.3	8.5	8.5	8.6	-2
P03s	2707609.8	4486602.6	16.7	12.8	8.7	-9.1	-2
P04s	2707854.9	4486837.3	18.3	12.9	10.8	4.2	-2
S01	2707797.5	4486872.5	18.4	12.4	10.6	6.1	-2
S02	2707754.7	4486931.7	18.4	11.3	10.3	8	-2
S03	2707684.2	4486827.3	16.9	13.1	10.4	5.8	-2
S04	2707627.4	4486765.4	17.1	13.5	9.3	-0.8	-2
S05	2707603.1	4486707.1	17.3	13.3	9.9	-4.2	-2
S06	2707704.2	4486708.7	16.7	13.7	9.6	-1.8	-2
S07	2707596.6	4486627.9	16.6	12.9	7.2	-8.6	-2
S08	2707752.7	4486536.9	16.3	12.9	9.3	-9	-2
S09	2707818.5	4486643.9	16.5	13.6	8.5	-3.7	-2
S10	2707964.9	4486715.3	18.2	13.5	9.5	0.1	-2
S11	2707668.2	4486622.4	16.8	13.4	8.3	-7.2	-2
S12	2707762.4	4486742.5	16.7	13.6	9.2	0.2	-2

Figura App.1. 1: Creazione del database per l'organizzazione dei dati del modello idrogeologico dell'area.

Attraverso un secondo programma sviluppato dalla stessa ditta, è stato costruito un unico file "*.geo" contenente tutte le informazioni spaziali e idrogeologiche successivamente inserite nel modello tridimensionale.

Creazione del modello tridimensionale dell'andamento di falda superficiale

Per la ricostruzione tridimensionale del modello idrogeologico dello stabilimento ISE di Taranto è stato utilizzato il programma EVS (Environmental Visualization System) prodotto da CTech Development Corporation. Questo software consente la trasformazione dei dati provenienti vari tipi di studi ambientali condotti su di un sito in fedeli rappresentazioni nello spazio tridimensionale. Il programma ha consentito, nel caso dello stabilimento in oggetto, di gestire e visualizzare dati di natura geologico-stratigrafica, idrogeologica e chimica.

Il programma utilizza oltre duecento “moduli” o “funzioni” indipendenti che possono essere interconnessi tra loro dall'utilizzatore del programma. Ogni modulo è in grado di eseguire un numero limitato di operazioni sui dati in ingresso e fornisce, in uscita, un set di dati modificato. Mettendo insieme più moduli, connessi tra loro in serie o in parallelo, è stato possibile creare una “rete” adatta alle necessità di rappresentazione del sito ISE di Taranto.

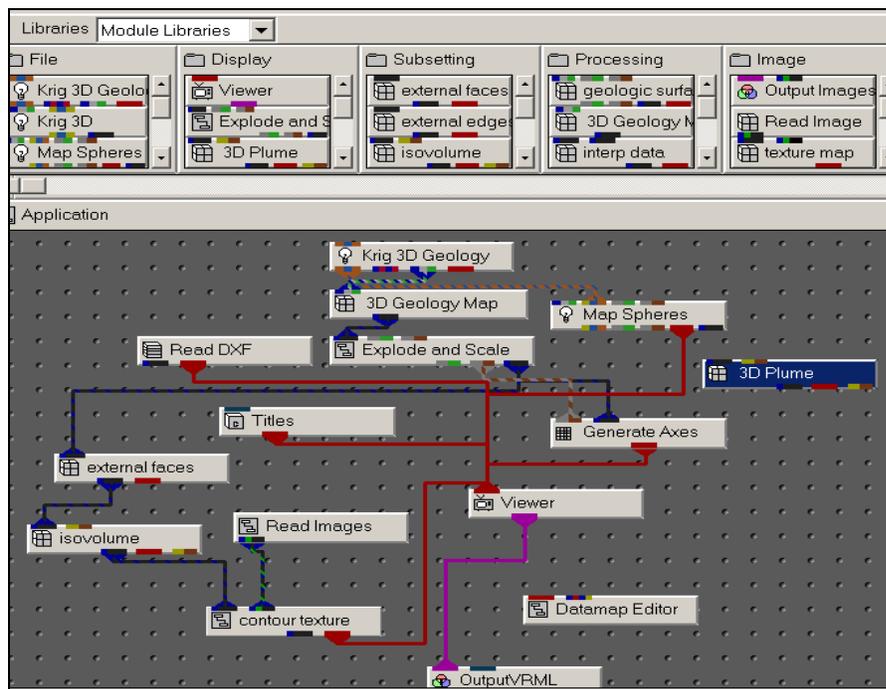


Figura App.1. 2: “Rete” di moduli che costituisce il modello idrogeologico 3D del sito ISE

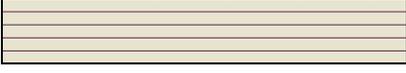
I dati di “campo”, appositamente pre-trattati, forniscono i dati di input del modello e vengono ricalcolati spazialmente attraverso un interpolatore “Kriging”, sulla base dei nodi di una maglia tridimensionale. Il Kriging è un metodo statistico di interpolazione che permette di studiare il valore assunto da una variabile nello spazio, partendo dai valori noti misurati e dal calcolo della sua variabilità spaziale (co-varianza).

Successivamente viene creato un solido tridimensionale del modello geologico partendo dalle superfici bidimensionali calcolati mediante Kriging, che permette di visualizzare le differenti unità idrogeologiche del sito in oggetto. Al modello vengono poi attribuite misure di scala verticale ed orizzontale per ottenerne una chiara rappresentazione tridimensionale.

Al fine di contestualizzare il modello tridimensionale del sito, al livello del piano campagna, è stata rappresentata la planimetria dello stabilimento georeferenziata, le coordinate piane relative all'area e l'ubicazione dei sondaggi effettuati in sito con l'identificativo di ogni sondaggio.

Al modello così ultimato, sono stati aggiunti alcuni moduli di calcolo, di filtraggio e di gestione dei dati "in uscita" che permettono, ad esempio, di calcolare il volume di un certo livello geologico e di estrapolarne immagini, di gestire i colori delle unità stratigrafiche e di creare simulazioni visualizzabili da un qualsiasi computer dotato di "browser" (ad esempio Microsoft Internet Explorer).

Nelle Figure da App.1.3 ad App.1.8 si riportano alcune immagini del modello tridimensionale del sito in oggetto, con la rappresentazione delle unità idrogeologiche che lo costituiscono, e riportate in legenda a seguito:

Simbologia	Unità idrogeologica
	Terreno superficiale insaturo
	Terreno superficiale saturo, sede dell'acquifero freatico
	Argille a bassa permeabilità
	Calcari e delle calcareniti fessurate, sede dell'acquifero profondo

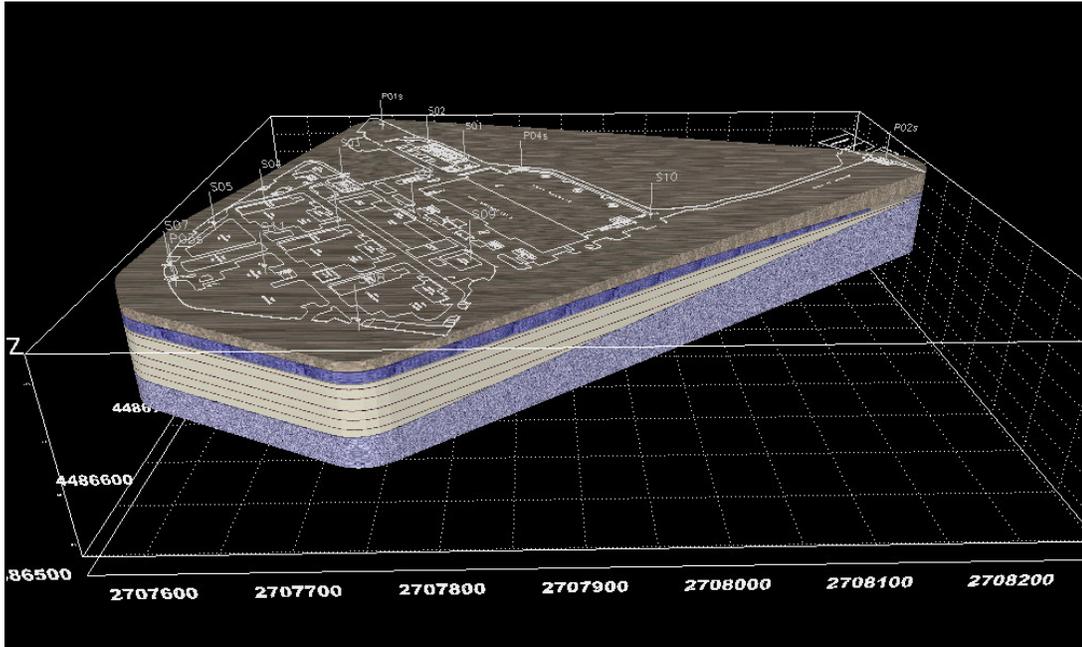


Figura App.1. 3: Modello idrogeologico del sottosuolo. Si rappresentano le quattro unità idrogeologiche del modello.

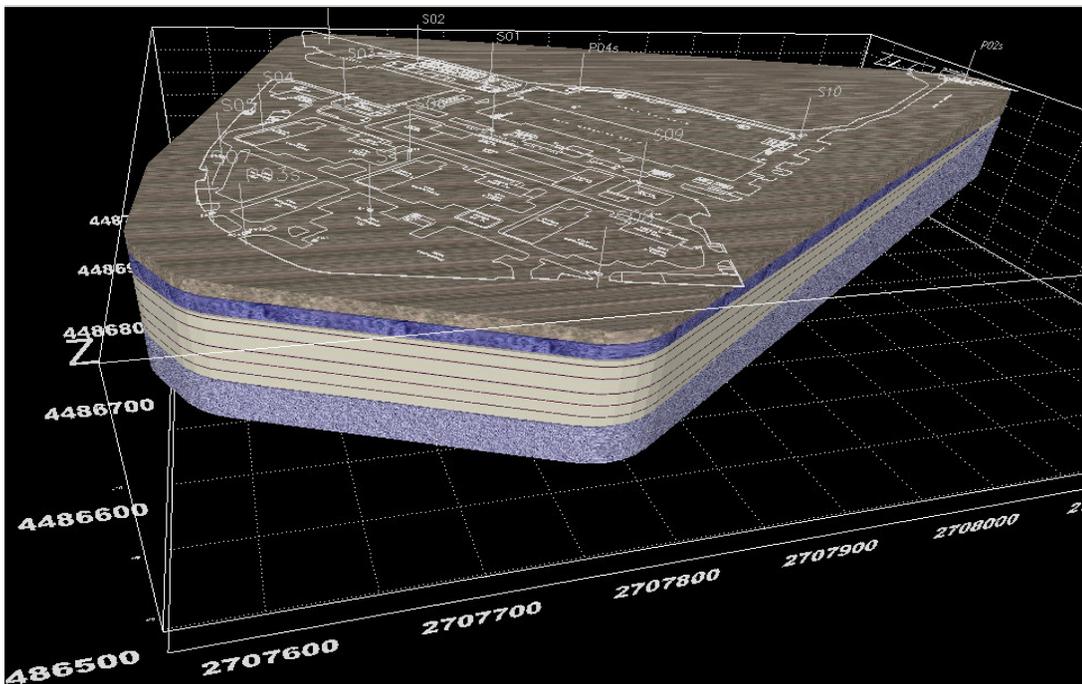


Figura App.1. 4: Modello idrogeologico del sottosuolo. Particolare dell'area a sud-ovest.

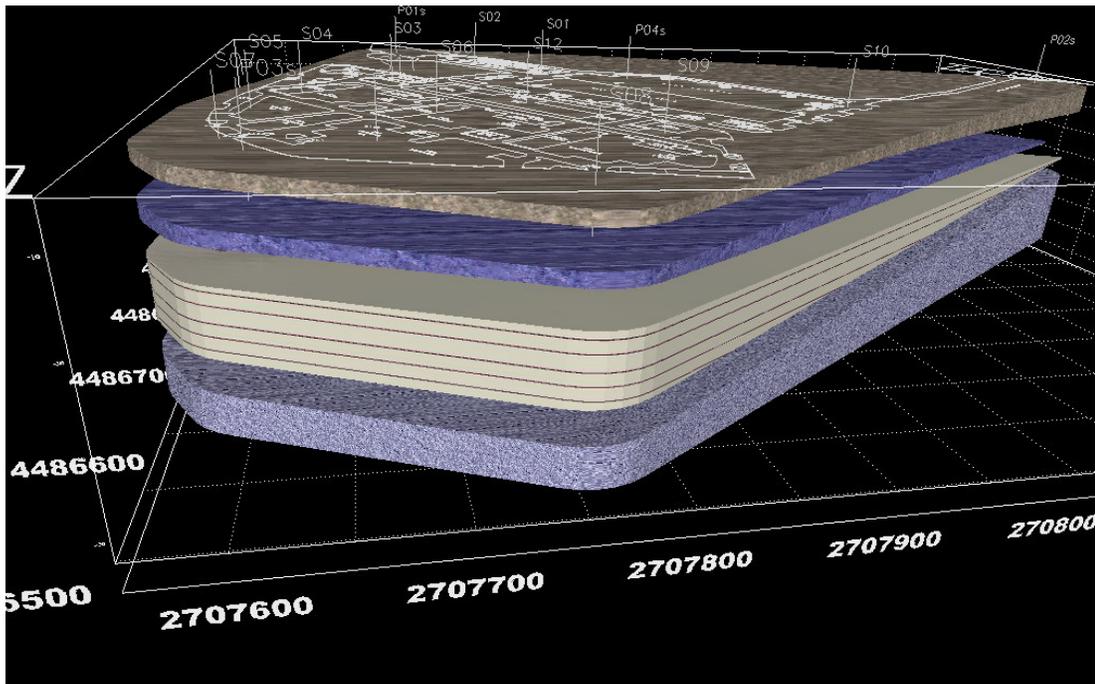


Figura App.1. 5: Modello idrogeologico del sottosuolo. Particolare dell'area a sud-ovest con separazione tra le unità idrogeologiche.

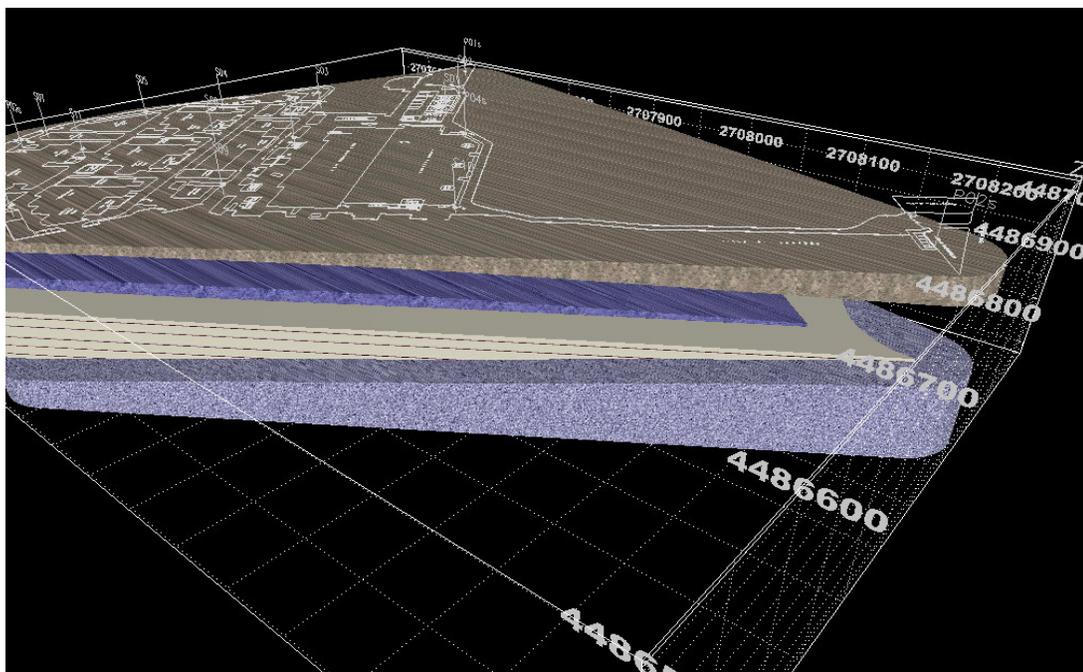


Figura App.1. 6: Modello idrogeologico del sottosuolo. Particolare dell'area a nord-est.

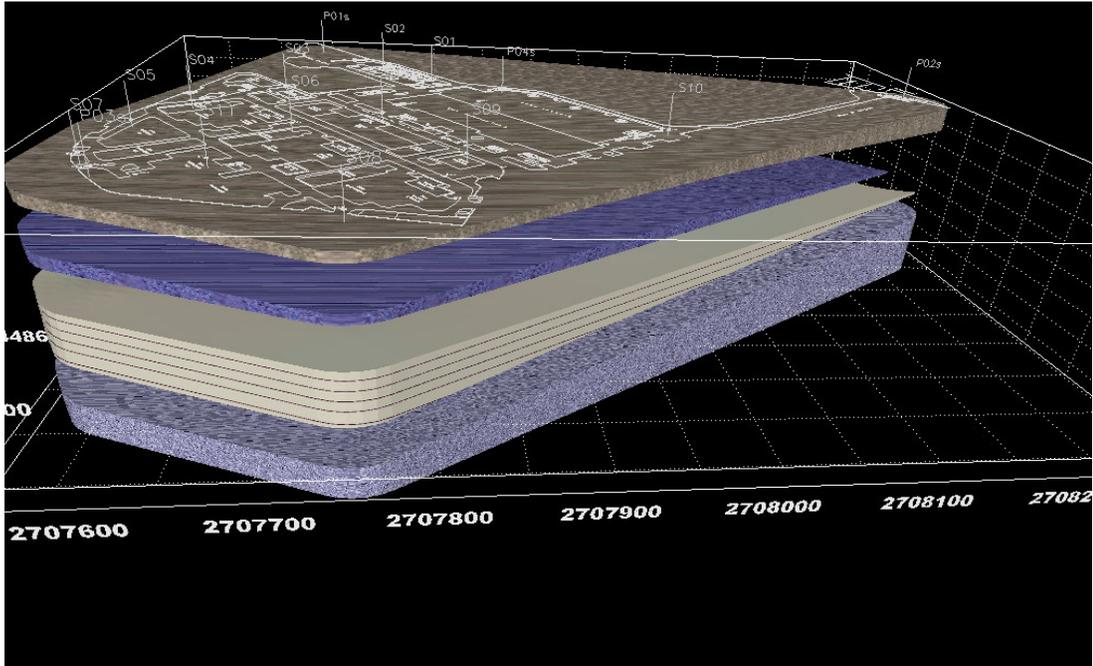


Figura App.1. 7: Modello idrogeologico del sottosuolo. Rappresentazione dell'area lungo il confine sud con separazione tra le unità idrogeologiche.

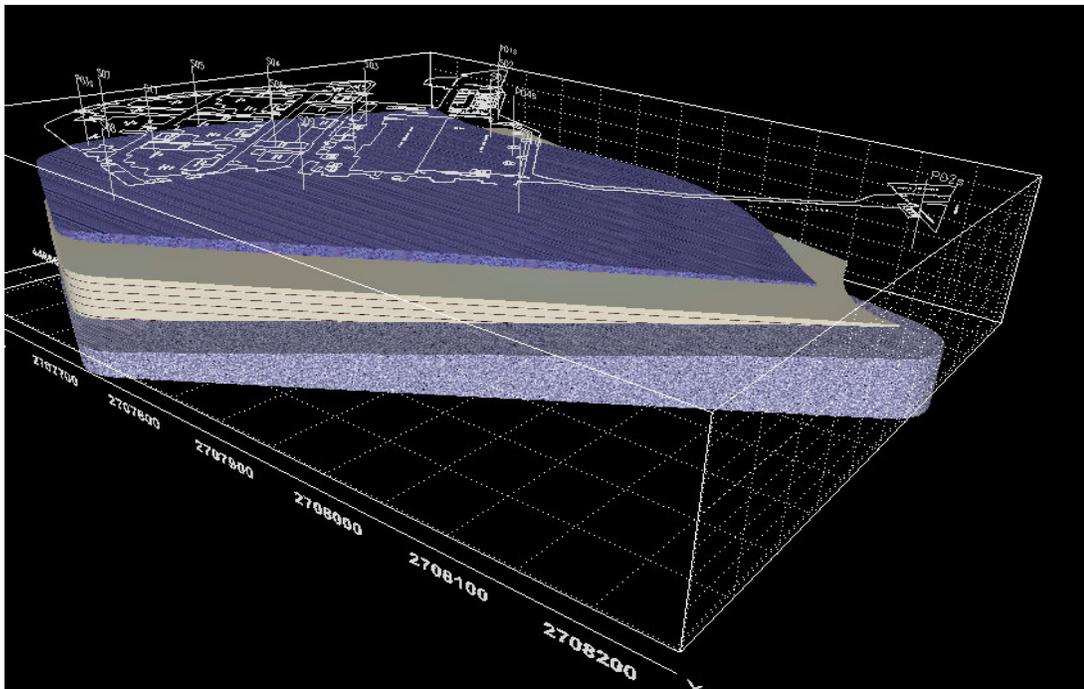


Figura App.1. 8: Modello idrogeologico del sottosuolo. Particolare dell'area nord-est.

APPENDICE 2: Sistema Informativo Territoriale (S.I.T.)

Introduzione

Al fine di gestire in modo agevole i dati acquisiti nel corso dell'indagine di caratterizzazione ambientale, è stato realizzato un Sistema Informativo Territoriale (S.I.T.).

Un S.I.T. (Sistema Informativo Territoriale), in inglese G.I.S. (*Geographic Information System*), è un sistema di database e di elementi spaziali georeferenziati che permettono la gestione, lo sviluppo e l'aggiornamento informatizzato dei dati, consentendone l'estrapolazione selettiva al fine di realizzare carte tematiche utili per l'interpretazione dei fenomeni ambientali.

Gli elementi cartografici, i dati, le immagini gestite con un S.I.T. costituiscono uno strumento di rappresentazione e di analisi notevolmente più versatile e dinamico rispetto alla classica cartografia.

Questa peculiarità, riconosciuta nello stesso DM 471/99 e consigliata, soprattutto ma non solo, per i siti di interesse nazionale, rende unico questo strumento che risulta indispensabile per raccogliere moli cospicue di informazioni nel tempo.

Metodologia applicata

Come software di lavoro sono stati scelti due prodotti attualmente di grande diffusione in Italia, sia da privati che nelle PP.AA.. Come SIT si è scelto ArcView[®] 8.3 della ESRI (*Environmental System Reserch Institute*) e come database MS Access della Microsoft[®].

Il database è stato elaborato sulla base delle principali linee guida suggerite da due primari Enti Internazionali che hanno sviluppato procedure standard per la gestione di database ambientali: USEPA (*United States Environmental Protection Agency*) e AFCEE (*Air Force Center for Environmental Excellence*). In particolare è stato utilizzato ERPIMS'98, il sistema di verifica e gestione di dati dei progetti ambientali di tutte le basi dell'Air Force americana (<http://www.afcee.brooks.af.mil>). Le linee guida hanno permesso di realizzare un prodotto che avesse caratteristiche di semplicità di gestione, chiarezza di consultazione ed efficacia di analisi.

Per ottenere questo è stato necessario procedere come descritto di seguito:

Informatizzazione dei dati

Inizialmente i dati provenienti dai laboratori di analisi sono stati adeguati alla struttura tipica dei SIT su tabelle predisposte e strutturate in modo da consentirne la consultazione, l'aggiornamento e l'elaborazione.

È stata definita una struttura relazionale che consente l'univocità del dato inserito nella specifica tabella e permette l'inserimento dei dati limitando al minimo gli errori umani. In particolare è stata utilizzata la nomenclatura dei composti consigliata da AFCEE e modificata in accordo con il laboratorio di analisi per i composti non presenti nell'elenco originario (la nomenclatura utilizzata è riportata in Allegato 7).

I dati provenienti dalle indagini di campo sono stati organizzati ed è stato effettuato un collegamento che consente la consultazione ipertestuale dei Rapporti di Campo stessi.

Sono stati inoltre inseriti i dati di sintesi elaborati da ENSR, per dare la possibilità di visionare le interpolazioni relative alla qualità delle acque sotterranee e dei terreni, che non possono essere effettuate senza l'esperienza di figure professionali tecniche e specifiche.

Georeferenziazione dei punti di indagine

Non essendo presenti all'interno del sito capisaldi per la georeferenziazione, sono state utilizzate le coordinate planimetriche riportate su una tavola di progetto fornito da ISE S.p.A. (progetto Ansaldo n. CET3BC00B128) al fine di identificare un caposaldo da utilizzare per l'inquadramento cartografico del rilievo.

Il rilievo è stato eseguito tramite una poligonale plano-altimetrica e la conformazione derivata (rete topografica) è stata opportunamente compensata, inoltre sono state calcolate le quote altimetriche dei punti di indagine.

Le coordinate planimetriche dei punti di indagine sono state calcolate nel sistema di stabilimento ISE e successivamente trasformate in coordinate del sistema nazionale nella rappresentazione Gauss-Boaga (ellissoide Hayford orientato a Roma Monte Mario).

Realizzazione del database associato al progetto GIS

E' stato creato un database che potesse essere utilizzato anche per l'aggiornamento dei dati primari; la modifica di questi dati sarà automaticamente seguita da una modifica in tempo reale delle informazioni nello strumento SIT realizzato per la gestione territoriale delle informazioni ambientali.

Si è scelto per maggiore chiarezza di dividere il database in contenitori più piccoli e più specifici contenenti le diverse informazioni disponibili relativamente alle campagne di indagine ambientale realizzate presso il sito in oggetto ed alle differenti matrici investigate.

Progettazione del GIS

Obiettivo principale della progettazione GIS è stato quello di riunire in modo strutturato le informazioni in nostro possesso per la creazione di carte di base basate sulla sovrapposizione delle informazioni spaziali (creazione di carte di primo livello). Le carte di primo livello sono delle carte a carattere conoscitivo ed esprimono la sintesi delle indagini effettuate sul sito. Sono state realizzate anche carte di secondo livello attraverso l'interpolazione ragionata e controllata dei dati analitici disponibili.

Per quanto riguarda la consultazione delle informazioni, sono stati creati dei files di progetti SIT nella sottocartella GESTIONE, che consentono di gestire le informazioni relative alla campagna di indagine con estrema semplicità ed efficacia. E' possibile ricavare le informazioni relative ai punti d'indagine direttamente selezionando sul SIT i punti di interesse ed è inoltre possibile evidenziare le contaminazioni più rilevanti selezionando il composto interessato.

Elaborazione dei dati

L'elaborazione con strumenti SIT può essere effettuata in qualsiasi momento selezionando le informazioni specifiche attraverso interrogazioni sia tabellari che spaziali. Le interpolazioni sono un utile strumento per evidenziare le zone di maggiore interesse all'interno del sito.

Le elaborazioni possono essere stampate o utilizzate informaticamente per interpretazione dei fenomeni ambientali in atto.

Al fine di garantire la completezza e l'accuratezza dei dati gestiti e delle interpolazioni prodotte, si è provveduto ad eseguire sistematici controlli di qualità (es. controlli incrociati e a campione) sia nel database, sia nel SIT a livello di carte di primo livello che di secondo livello.

Dati archiviati nel database

In questo paragrafo si vogliono dare delle indicazioni di massima sul contenuto del database relazionale denominato "DB_ISE".

Il suddetto database contiene tutte le informazioni relative ai risultati delle analisi di laboratorio effettuate sui campioni prelevati durante le indagini preliminari sulle acque di falda e tutte le informazioni relative alla georeferenziazione dei punti presenti presso il sito in oggetto.

All'interno del database è stato necessario creare due tipologie di tabelle riguardanti i risultati delle analisi, una in formato testo (alfanumerico), l'altra in formato numerico.

La tabella in formato testo rappresenta la trascrizione fedele dei risultati di laboratorio; il formato numerico, invece, è quello utilizzato per le elaborazioni effettuate mediante il SIT. Non potendo contenere caratteri differenti dai numeri (altrimenti non riconosciuti dal programma), si è assunto che, qualora le concentrazioni rilevate risultassero essere inferiori al MDL (MDL – *Method Detection Limit*), il valore di concentrazione dell'analita considerato fosse pari al valore dell'MDL.

Il database, in particolare, contiene le seguenti tabelle organizzate con una struttura relazionale:

- GW_ISE_COO (formato alfanumerico);
- GW_ISE_COO_MDL (formato numerico);
- SOIL_ISE_COO (formato alfanumerico);
- SOIL_ISE_COO_MDL (formato numerico);
- COORDINATE;
- NOMI COMPOSTI.

Dati archiviati nelle tabelle

Sono stati attribuiti dei codici identificativi univoci per ogni punto georeferenziato (campo *LOCID*), lasciando invariato il campo del codice assegnato dal topografo (*TOPID*) in sede di battuta topografica (tabella COORDINATE).

Nelle tabelle relative ai risultati delle analisi delle acque sotterranee della prima falda e dei terreni (GW_ISE e SOIL_ISE), sono stati creati i seguenti campi:

- *FLDSAMPID*: nome assegnato in fase di campionamento al campione. La nomenclatura utilizzata è, per esempio, P1_01-00_02-50, cioè il nome del sondaggio/piezometro e l'intervallo di campionamento;
- *LOGDATE*: data di prelievo del campione;
- *LABSAMPID*: codice univoco associato dal laboratorio di analisi al campione;
- *SBD*: profondità di inizio del campionamento;

- *SED*: profondità di fine del campionamento;
- *LOCID*: nome del sondaggio;
- *MATRIX*: matrice investigata;

seguono infine i codici dei composti e dei parametri analizzati (si rimanda all'Allegato 12 per la loro codifica).

Aggiornamento e gestione

Nella cartella GESTIONE sono presenti 3 progetti SIT:

- Analisi;
- Interpolazioni acque;
- Interpolazioni terreni;
- Stratigrafie.

Attraverso la loro interrogazione è possibile ricevere in modo semplice ed intuitivo, anche senza conoscere a fondo il programma di gestione dei dati territoriali, molte informazioni sul sito e sulle analisi effettuate.

Il progetto *Analisi* contiene tutte le informazioni relative ai risultati delle analisi di laboratorio della campagna di campionamento delle acque di prima falda. In questo progetto, come negli altri, è possibile selezionare a scelta il *layer* interessato, in modo da visualizzare unicamente le indagini di cui si vuole conoscere l'ubicazione o la concentrazione riscontrata dei differenti parametri ricercati nel corso delle analisi chimiche svolte.

Con il tasto *Identify*  (posizionando il cursore del mouse sul punto di campionamento di interesse) vengono mostrate tutte le informazioni relative alla posizione del campionamento, alla concentrazione degli inquinanti alle varie profondità e ogni altra informazione raccolta.

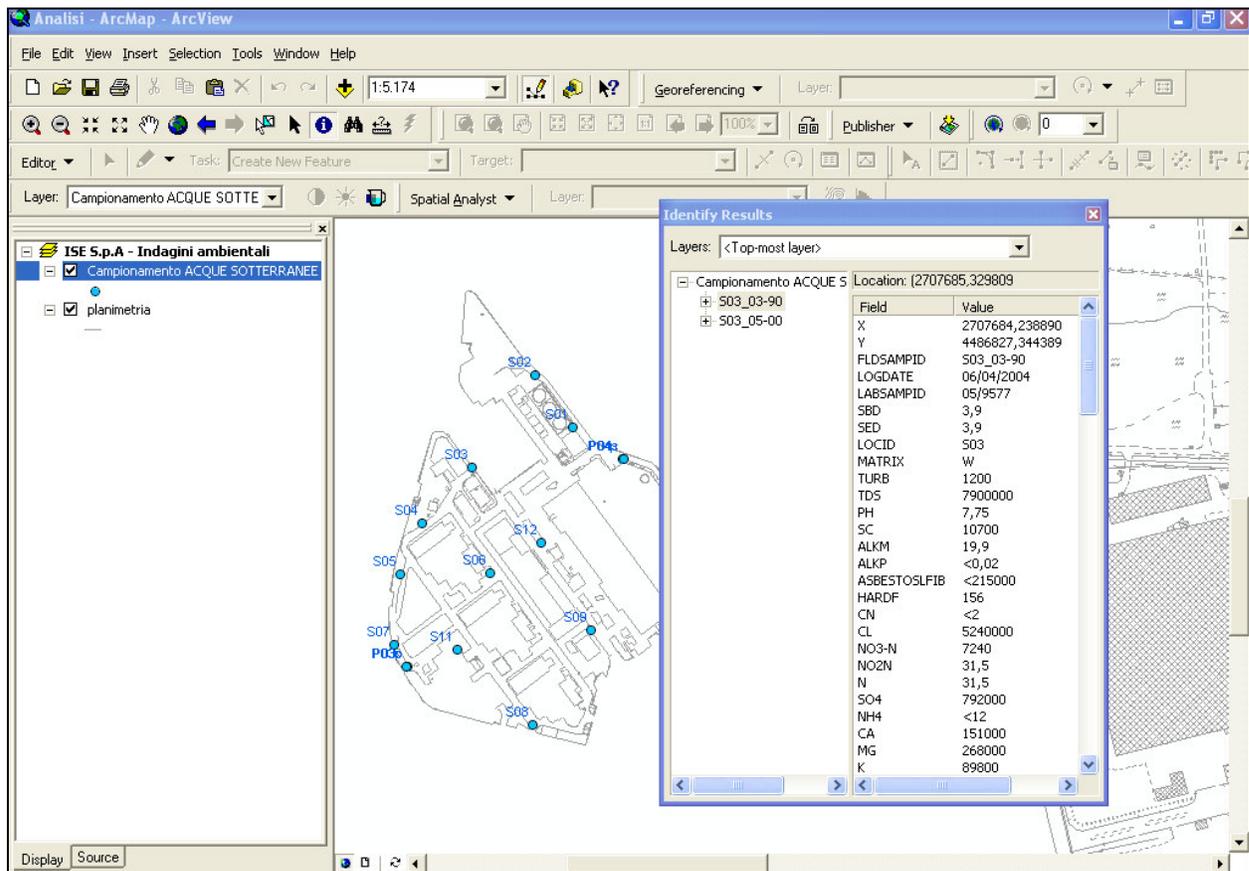


Figura App.2. 1: Esempio della visualizzazione dati nel SIT “Analisi”.

Nel progetto *Interpolazioni* sono presenti le interpolazioni ricavate dai dati analitici disponibili relativi alle sostanze di maggior interesse. Selezionando il layer di interesse è possibile visualizzare le aree di isoconcentrazione del composto in oggetto.

Le interpolazioni sono state realizzate sulla base delle distribuzioni statistiche dei dati analitici disponibili, e sono state accuratamente valutate al fine di rappresentare una situazione il più possibile aderente alla realtà rappresentata dai dati analitici disponibili.

I metodi utilizzati per realizzare l'interpolazione sono il “Kriging” e “inverse distance weighted”; tali metodo sono risultati i più adeguati alla distribuzione spaziale e statistica dei dati analitici disponibili.

L'area oggetto di interpolazione è stata delimitata e definita come area circoscritta all'interno dei punti di campionamento che presentavano dati analitici coerenti alla interpolazione che si andava realizzando e strettamente limitata all'interno del sito in oggetto.

Nel progetto *Stratigrafie* sono rappresentati i punti di campionamento con le rispettive tipologie di indagine. Attraverso il pulsante *Hyperlink*  si attivano i punti cui è associato un collegamento ipertestuale. Tali documenti sono stati archiviati nella cartella PDF e le stratigrafie dei punti, in formato *Adobe Acrobat*.

Visualizzazione SIT con ArcReader

Insieme al SIT implementato con il programma ArcView 8.3 viene allegato un software di visualizzazione, *ArcReader* della ESRI, che permette di accedere ai dati ed alle elaborazioni del SIT quando non si è in possesso di ArcView 8.x.

ArcReader ha le stesse funzionalità che sono state descritte nei paragrafi precedenti, ma, a differenza di ArcView, non è possibile modificare in alcun modo i files visualizzati.

I files in formato *ArcReader* (.pmf) sono contenuti nella cartella PER_ARCREADER.

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 2.1: Area geografica a nord della città di Taranto. L'immagine è ottenuta dalla sovrapposizione di una fotografia aerea e di un'immagine da atlante stradale. Scala 1:100.000.....	2-2
Figura 2.2: Layout dello stabilimento. In figura sono indicati gli impianti CET2 (tratteggio di blu) e CET3 (tratteggio giallo).....	2-5
Figura 5.1: Schema strutturale dell'area della Fossa Bradanica; fonte: Società Geologica Italiana, 1999.....	5-2
Figura 5.2: Schema delle Unità Idrogeologiche della Regione Puglia (Unità del Gargano, Unità del Tavoliere, Unità della Murgia e Unità del Salento): 1) affioramenti carbonatici delle unità del Gargano, Murgia e Salento; 2) Unità del Tavoliere, prevalentemente conglomerati e sabbie; 3) acquiferi e litotipi permeabili superficiali, costituiti da calcareniti, sabbie argillose, sabbie, ghiaie, conglomerati; 4) litotipi a bassa permeabilità, costituiti da argille marnose, 5) limite di unità idrogeologica; 6) limite regionale; 7) limite provinciale. Fonte: Cotecchia V. et alii, 1999.....	5-6
Figura 5.3: Modello idrogeologico del sottosuolo. Si rappresentano le quattro unità idrogeologiche del modello così come descritte in legenda. Vista da sud-ovest.....	5-8
Figura 5.4: Modello idrogeologico del sottosuolo. Particolare dell'area a sud-ovest con separazione tra le unità idrogeologiche.....	5-9
Figura 5.5: Modello idrogeologico del sottosuolo. Particolare dell'area a nord-est. Si nota l'assottigliamento delle argille e l'assenza della falda superficiale in corrispondenza del sondaggio P02s e la minor profondità della superficie di tetto dell'unità dei calcari.....	5-9
Figura 5.6: Carta delle curve isopiezometriche (Fonte: Ufficio Cartografico, Regione Puglia).....	5-11
Figura 5.7: Diagramma di Piper per le acque dei piezometri P02p, P03s, P03p, P04s, P04p.....	5-14
Figura 5.8: Rappresentazione schematica dell'intrusione marina. Fonte: Polemio M., Limoni P.P. (1998).....	5-15
Figura 5.9: Concentrazione di cloroione in pozzi ad uso idropotabile. Fonte: Piano Direttore Regione Puglia, 2002.....	5-16
Figura 5.10: Variazioni della isoalina 0.5 g/l nelle province di Bari, Taranto, Brindisi e Lecce. Fonte: Polemio M., Limoni P.P. (1998).....	5-16
Figura App.1. 1: Creazione del database per l'organizzazione dei dati del modello idrogeologico dell'area.....	III
Figura App.1. 2: "Rete" di moduli che costituisce il modello idrogeologico 3D del sito ISE.....	IV

Figura App.1. 3: Modello idrogeologico del sottosuolo. Si rappresentano le quattro unità idrogeologiche del modello.....	VI
Figura App.1. 4: Modello idrogeologico del sottosuolo. Particolare dell'area a sud-ovest.	VI
Figura App.1. 5: Modello idrogeologico del sottosuolo. Particolare dell'area a sud-ovest con separazione tra le unità idrogeologiche.	VII
Figura App.1. 6: Modello idrogeologico del sottosuolo. Particolare dell'area a nord-est.....	VII
Figura App.1. 7: Modello idrogeologico del sottosuolo. Rappresentazione dell'area lungo il confine sud con separazione tra le unità idrogeologiche.	VIII
Figura App.1. 8: Modello idrogeologico del sottosuolo. Particolare dell'area nord-est.....	VIII
Figura App.2. 1: Esempio della visualizzazione dati nel SIT "Analisi".	XV

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 3.1: Profondità raggiunta durante i sondaggi superficiali e profondi, e profondità di prelievo del campione per le analisi fisiche e geotecniche	3-4
Tabella 3.2: Orizzonti di terreno campionati e campioni inviati al laboratorio per le analisi chimiche...	3-5
Tabella 3.3: Campioni di acqua di falda superficiale e profonda prelevati durante le sessioni di monitoraggio del 30/03/04 - 07/04/04 - 27/09/04 e relativa profondità di campionamento.....	3-14
Tabella 3.4: Parametri analizzati nei campioni di terreno e metodiche analitiche utilizzate	3-20
Tabella 3.5: Parametri analizzati nei campioni di acqua di falda e metodi analitici utilizzati dal laboratorio.....	3-27
Tabella 4.1: Concentrazioni analitiche superiori ai limiti D.M. 471/99 per siti ad uso commerciale - industriale rilevate nei campioni di terreno prelevati durante la campagna di Febbraio - Marzo 2004	4-2
Tabella 4.2: Risultati analitici dei campioni di fanghi delle canaline di deflusso delle acque meteoriche (FN) e di <i>top soil</i> (TS) riferiti ai limiti del D.M. 471/99 per siti ad uso commerciale-industriale prelevati durante la campagna di Febbraio - Marzo 2004	4-4
Tabella 4.3: Tabella di sintesi delle principali caratteristiche fisiche rilevate nei campioni di terreno analizzati.....	4-5
Tabella 4.4: Parametri superiori al limite stabilito dal D.M. 471/99 rilevati nella falda superficiale durante le tre campagne di monitoraggio effettuate.....	4-7
Tabella 4.5: Parametri superiori al limite stabilito dal D.M. 471/99 rilevati nella falda profonda durante le tre campagne di monitoraggio effettuate.....	4-14
Tabella 4.6: Prova di risalita	4-17
Tabella 4.7: Valori di Trasmissività (T) e Coefficiente di Permeabilità (K)	4-18
Tabella 4.8: Misure della soggiacenza nei piezometri superficiali dal 23/03/2004 al 21/10/2004....	4-20
Tabella 4.9: Misure della soggiacenza nei piezometri profondi dal 23/03/2004 al 21/10/2004.....	4-20
Tabella 4.10: Sintesi dei valori superiori ai limiti di rilevabilità strumentale riscontrati nei campioni di acqua prelevati dalle condutture interrate in entrata ed in uscita dal circuito secondario di raffreddamento delle centrali CET2 e CET3.....	4-21
Tabella 5.1: Dati relativi alle acque di falda (superficiale e profonda) utilizzati per l'elaborazione nel diagramma di Piper	5-12

TAVOLE

- Tavola 1 Corografia dell'area
- Tavola 2 Carta dell'uso del suolo
- Tavola 3 Ubicazione dei punti di indagine
- Tavola 4 Schema delle principali linee di raffreddamento delle centrali CET 2 e CET 3 e ubicazione dei punti di campionamento
- Tavola 5 Risultati analitici nei terreni superiori ai limiti del D.M. 471/99 per siti ad uso Commerciale e Industriale
- Tavola 6 Aree di isoconcentrazione di Idrocarburi Pesanti (C>12) rilevati nei terreni
- Tavola 7 Aree di isoconcentrazione di Idrocarburi Totali rilevati nei terreni
- Tavola 8 Aree di isoconcentrazione di Rame rilevato nei terreni
- Tavola 9 Risultati analitici superiori ai limiti del D.M. 471/99 rilevati nelle acque sotterranee prelevate durante la sessione di monitoraggio del 30/03/2004 – 07/04/2004
- Tavola 10 Risultati analitici superiori ai limiti del D.M. 471/99 rilevati nelle acque sotterranee prelevate durante la sessione di monitoraggio del 17/06/2004 – 23/06/2004
- Tavola 11 Risultati analitici superiori ai limiti del D.M. 471/99 rilevati nelle acque sotterranee prelevate durante la sessione di monitoraggio del 27/09/2004 – 04/10/2004
- Tavola 12 Aree di isoconcentrazione dell'**Alluminio** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 30/03/2004 – 07/04/2004
- Tavola 13 Aree di isoconcentrazione dell'**Alluminio** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 17/06/2004 – 23/06/2004
- Tavola 14 Aree di isoconcentrazione dell'**Alluminio** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 27/09/2004 – 04/10/2004

-
- Tavola 15 Aree di isoconcentrazione dell'**Arsenico** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 30/03/2004 – 07/04/2004
- Tavola 16 Aree di isoconcentrazione dell'**Arsenico** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 17/06/2004 – 23/06/2004
- Tavola 17 Aree di isoconcentrazione dell'**Arsenico** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 27/09/2004 – 04/10/2004
- Tavola 18 Aree di isoconcentrazione del **Cobalto** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 30/03/2004 – 07/04/2004
- Tavola 19 Aree di isoconcentrazione del **Cobalto** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 17/06/2004 – 23/06/2004
- Tavola 20 Aree di isoconcentrazione del **Cromo totale** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 30/03/2004 – 07/04/2004
- Tavola 21 Aree di isoconcentrazione del **Cromo totale** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 17/06/2004 – 23/06/2004
- Tavola 22 Aree di isoconcentrazione del **Cromo VI** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 30/03/2004 – 07/04/2004
- Tavola 23 Aree di isoconcentrazione del **Ferro** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 30/03/2004 – 07/04/2004
- Tavola 24 Aree di isoconcentrazione del **Ferro** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 17/06/2004 – 23/06/2004
- Tavola 25 Aree di isoconcentrazione del **Ferro** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 27/09/2004 – 04/10/2004
- Tavola 26 Aree di isoconcentrazione del **Manganese** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 30/03/2004 – 07/04/2004
- Tavola 27 Aree di isoconcentrazione del **Manganese** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 17/06/2004 – 23/06/2004
-

-
- Tavola 28 Aree di isoconcentrazione del **Manganese** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 27/09/2004 – 04/10/2004
- Tavola 29 Aree di isoconcentrazione del **Nichel** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 30/03/2004 – 07/04/2004
- Tavola 30 Aree di isoconcentrazione del **Nichel** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 17/06/2004 – 23/06/2004
- Tavola 31 Aree di isoconcentrazione del **Nichel** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 27/09/2004 – 04/10/2004
- Tavola 32 Aree di isoconcentrazione del **Piombo** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 30/03/2004 – 07/04/2004
- Tavola 33 Aree di isoconcentrazione del **Piombo** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 17/06/2004 – 23/06/2004
- Tavola 34 Aree di isoconcentrazione del **Piombo** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 27/09/2004 – 04/10/2004
- Tavola 35 Aree di isoconcentrazione dei **Cianuri** rilevati nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 30/03/2004 – 07/04/2004
- Tavola 36 Aree di isoconcentrazione dei **Cianuri** rilevati nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 17/06/2004 – 23/06/2004
- Tavola 37 Aree di isoconcentrazione dei **Cianuri** rilevati nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 27/09/2004 – 04/10/2004
- Tavola 38 Aree di isoconcentrazione dei **Nitriti** rilevati nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 27/09/2004 – 04/10/2004
- Tavola 39 Aree di isoconcentrazione dei **Solfati** rilevati nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 30/03/2004 – 07/04/2004
- Tavola 40 Aree di isoconcentrazione dei **Solfati** rilevati nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 17/06/2004 – 23/06/2004

-
- Tavola 41 Aree di isoconcentrazione dei **Solfati** rilevati nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 27/09/2004 – 04/10/2004
- Tavola 42 Aree di isoconcentrazione del **Benzene** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 30/03/2004 – 07/04/2004
- Tavola 43 Aree di isoconcentrazione del **Benzene** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 17/06/2004 – 23/06/2004
- Tavola 44 Aree di isoconcentrazione del **Benzo[a]pirene** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 30/03/2004 – 07/04/2004
- Tavola 45 Aree di isoconcentrazione del **Benzo[a]pirene** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 17/06/2004 – 23/06/2004
- Tavola 46 Aree di isoconcentrazione del **Benzo[g,h,i]perilene** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 30/03/2004 – 07/04/2004
- Tavola 47 Aree di isoconcentrazione del **Benzo[g,h,i]perilene** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 17/06/2004 – 23/06/2004
- Tavola 48 Aree di isoconcentrazione del **Dibenzo[a,h]antracene** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 30/03/2004 – 07/04/2004
- Tavola 49 Aree di isoconcentrazione del **Pentaclorofenolo** rilevato nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 17/06/2004 – 23/06/2004
- Tavola 50 Aree di isoconcentrazione dei **PCDD e PCDF** rilevati nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 30/03/2004 – 07/04/2004
- Tavola 51 Aree di isoconcentrazione dei **PCDD e PCDF** rilevati nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 17/06/2004 – 23/06/2004
- Tavola 52 Aree di isoconcentrazione dei **PCDD e PCDF** rilevati nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 27/09/2004 – 04/10/2004
- Tavola 53 Aree di isoconcentrazione dei **PCB** rilevati nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 30/03/2004 – 07/04/2004

-
- Tavola 54 Aree di isoconcentrazione dei **PCB** rilevati nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 17/06/2004 – 23/06/2004
- Tavola 55 Aree di isoconcentrazione dei **PCB** rilevati nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 27/09/2004 – 04/10/2004
- Tavola 56 Aree di isoconcentrazione degli **Idrocarburi totali** rilevati nella falda superficiale nella sessione di monitoraggio del 17/06/2004 – 23/06/2004
- Tavola 57 Superficie piezometrica relativa alla falda superficiale (sessione di monitoraggio del 23/03/2004)
- Tavola 58 Superficie piezometrica relativa alla falda superficiale (sessione di monitoraggio del 07/04/2004)
- Tavola 59 Superficie piezometrica relativa alla falda superficiale (sessione di monitoraggio del 27/04/2004)
- Tavola 60 Superficie piezometrica relativa alla falda superficiale (sessione di monitoraggio del 14/05/2004)
- Tavola 61 Superficie piezometrica relativa alla falda superficiale (sessione di monitoraggio del 03/06/2004)
- Tavola 62 Superficie piezometrica relativa alla falda superficiale (sessione di monitoraggio del 18/06/2004)
- Tavola 63 Superficie piezometrica relativa alla falda superficiale (sessione di monitoraggio del 22/07/2004)
- Tavola 64 Superficie piezometrica relativa alla falda superficiale (sessione di monitoraggio del 27/09/2004)
- Tavola 65 Superficie piezometrica relativa alla falda superficiale (sessione di monitoraggio del 14/10/2004)
- Tavola 66 Superficie piezometrica relativa alla falda superficiale (sessione di monitoraggio del 21/10/2004)

-
- Tavola 67 Superficie piezometrica relativa alla falda profonda (sessione di monitoraggio del 23/03/2004)
- Tavola 68 Superficie piezometrica relativa alla falda profonda (sessione di monitoraggio del 07/04/2004)
- Tavola 69 Superficie piezometrica relativa alla falda profonda (sessione di monitoraggio del 27/04/2004)
- Tavola 70 Superficie piezometrica relativa alla falda profonda (sessione di monitoraggio del 14/05/2004)
- Tavola 71 Superficie piezometrica relativa alla falda profonda (sessione di monitoraggio 03/06/2004)
- Tavola 72 Superficie piezometrica relativa alla falda profonda (sessione di monitoraggio 18/06/2004)
- Tavola 73 Superficie piezometrica relativa alla falda profonda (sessione di monitoraggio 22/07/2004)
- Tavola 74 Superficie piezometrica relativa alla falda profonda (sessione di monitoraggio 27/09/2004)
- Tavola 75 Superficie piezometrica relativa alla falda profonda (sessione di monitoraggio 14/10/2004)
- Tavola 76 Superficie piezometrica relativa alla falda profonda (sessione di monitoraggio 21/10/2004)
- Tavola 77 Carta Geologica (fonte: Regione Puglia, da Carta Geologica d'Italia 1:100.000, Foglio 202 Taranto)
- Tavola 78.a Sezioni stratigrafiche A-A" e B-B"
- Tavola 78.b Sezioni stratigrafiche A-A', B-B' e A'-A"
- Tavola 79 Ricostruzione tridimensionale delle criticità ambientali riscontrate nel sottosuolo insaturo

ALLEGATI

- Allegato 1 Verbale della Conferenza dei Servizi svoltasi presso il Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio il 25/07/2002; Verbale Riunione Tecnica svoltasi a Taranto il 28/01/2004.
- Allegato 2 Stratigrafie e schemi costruttivi dei piezometri installati
- Allegato 3 Moduli di campionamento delle acque sotterranee
- Allegato 4 Catene di custodia
- Allegato 5 Certificati analitici dei campioni di terreno
- Allegato 6 Certificati analitici dei campioni di fanghi e top soil
- Allegato 7 Prove geotecniche di laboratorio
- Allegato 8 Certificati analitici dei campioni di acqua di falda
- 8.a Sessione di monitoraggio del 30/03/2004 – 07/04/2004
- 8.b Sessione di monitoraggio del 17/06/2004 – 23/06/2004
- 8.c Sessione di monitoraggio del 27/09/2004 – 04/10/2004
- Allegato 9 Tabelle riassuntive dei risultati superiori ai limiti stabiliti dal D.M. 471/99 riscontrati durante le tre sessioni di monitoraggio delle acque di falda
- Allegato 10 Elaborazione dei dati ottenuti in seguito alle prove per la determinazione del coefficiente di permeabilità
- Allegato 11 Certificati analitici dei campioni di acqua del ciclo di raffreddamento delle centrali CET 2 e CET 3
- Allegato 12 Nomenclatura utilizzata nel SIT per i composti ed i parametri analizzati

ALLEGATO 1

Verbale della Conferenza dei Servizi svoltasi presso il Ministero dell'Ambiente e Tutela
del Territorio il 25/07/2002

Verbale Riunione Tecnica svoltasi a Taranto il 28/01/2004

ALLEGATO 2

Stratigrafie e schemi costruttivi dei piezometri installati

ALLEGATO 3

Moduli di campionamento delle acque sotterranee

ALLEGATO 4

Catene di custodia

ALLEGATO 5

Certificati analitici dei campioni di terreno

ALLEGATO 6

Certificati analitici dei campioni di fanghi e top soil

ALLEGATO 7

Prove geotecniche di laboratorio

ALLEGATO 8

Certificati analitici dei campioni di acqua di falda

ALLEGATO 8.a

Sessione di monitoraggio del 30/03/2004 – 07/04/2004

ALLEGATO 8.b

Sessione di monitoraggio del 17/06/2004 – 23/06/2004

ALLEGATO 8.c

Sessione di monitoraggio del 27/09/2004 – 04/10/2004

ALLEGATO 9

Tabelle riassuntive dei risultati superiori ai limiti stabiliti dal D.M. 471/99 riscontrati
durante le tre sessioni di monitoraggio delle acque di falda

ALLEGATO 10

Elaborazione dei dati ottenuti in seguito alle prove per la determinazione
del coefficiente di permeabilità

ALLEGATO 11

Certificati analitici dei campioni di acqua del ciclo di raffreddamento
delle centrali CET 2 e CET 3.

ALLEGATO 12

Nomenclatura utilizzata nel SIT per i composti ed i parametri analizzati