

CENTRALE TERMOELETTRICA DI TURBIGO
DOCUMENTAZIONE INTEGRATIVA PER LA RICHIESTA
DI AUTORIZZAZIONE INTEGRATA AMBIENTALE

ALLEGATO 9
"Sistema di Gestione
Valutazione di Rischio di Contaminazione del Suolo"

| | |
|--|---|
| <p>FENICE S.p.A. a socio unico CENTRO SERVIZI ECOLOGICI Bonifiche e Monitoraggi ambientali Via Acqui 86 10090 Rivoli Cascine Vica (Torino) Tel 011 9513911/912 Telefax 011 9513800 Direzione e Coordinamento ex art. 2497 c.c.: Electricité de France E-mail: cse.dir@fenicespa.com</p> | <p><input type="checkbox"/> Prodotti industriali <input type="checkbox"/> Acque potabili <input type="checkbox"/> Acque di scarico <input type="checkbox"/> Rifiuti industriali <input type="checkbox"/> Microbiologia <input checked="" type="checkbox"/> Altre prestazioni</p> |
|--|---|

Riferimento: CSE-RL-994/05

Pagine: 1 di 97

Data: 01/12/2005

Allegati: 11

EDIPOWER S.p.A.

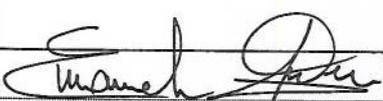
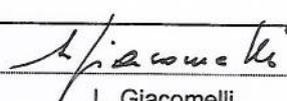
CTE Turbigo (MI)

VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI CONTAMINAZIONE DEL SUOLO

AREE DI STOCCAGGIO OLIO COMBUSTIBILE DENSO

LISTA DI DISTRIBUZIONE

EDIPOWER S.p.A.
 Via Centrale Termica
 20029 Turbigo (MI)

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Emanuele Auteri | Marco Sagliaschi | L. Giacomelli |
| Bonifiche e Monitoraggi Ambientali | Responsabile Bonifiche e Monitoraggi Ambientali | Responsabile Centro Servizi Ecologici |
| Elaborazione | Verifica | Approvazione |

| | | | | | | | |
|--|--|---|---|---|--|--|---|
| <p>FENICE S.p.A. a socio unico CENTRO SERVIZI ECOLOGICI Bonifiche e Monitoraggi ambientali Via Acqui 86 10090 Rivoli Cascine Vica (Torino) Tel 011 9513911/912 Telefax 011 9513800 Direzione e Coordinamento ex art. 2497 c.c.: Electricité de France E-mail: cse.dir@fenicespa.com</p> | <table style="width: 100%;"> <tr> <td><input type="checkbox"/> Prodotti industriali</td> <td><input type="checkbox"/> Acque potabili</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Acque di scarico</td> <td><input type="checkbox"/> Rifiuti industriali</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Microbiologia</td> <td><input checked="" type="checkbox"/> Altre prestazioni</td> </tr> </table> | <input type="checkbox"/> Prodotti industriali | <input type="checkbox"/> Acque potabili | <input type="checkbox"/> Acque di scarico | <input type="checkbox"/> Rifiuti industriali | <input type="checkbox"/> Microbiologia | <input checked="" type="checkbox"/> Altre prestazioni |
| <input type="checkbox"/> Prodotti industriali | <input type="checkbox"/> Acque potabili | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> Acque di scarico | <input type="checkbox"/> Rifiuti industriali | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> Microbiologia | <input checked="" type="checkbox"/> Altre prestazioni | | | | | | |

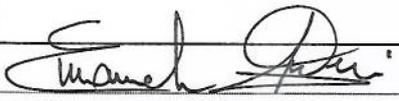
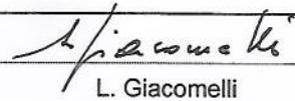
| | |
|----------------------------|-----------------|
| Riferimento: CSE-RL-994/05 | Pagine: 1 di 97 |
| Data: 01/12/2005 | Allegati: 11 |

EDIPOWER S.p.A.
CTE Turbigo (MI)

**VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI
 CONTAMINAZIONE DEL SUOLO
 AREE DI STOCCAGGIO OLIO COMBUSTIBILE DENSO**

LISTA DI DISTRIBUZIONE

EDIPOWER S.p.A.
 Via Centrale Termica
 20029 Turbigo (MI)

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Emanuele Auteri | Marco Sagliaschi | L. Giacomelli |
| Bonifiche e Monitoraggi Ambientali | Responsabile Bonifiche e Monitoraggi Ambientali | Responsabile Centro Servizi Ecologici |
| Elaborazione | Verifica | Approvazione |

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 2 di 97 | |

INDICE

| | | |
|-----------|--|---------|
| 1. | PREMESSA | Pag. 4 |
| 2. | CONTESTO IDROGEOLOGICO | Pag. 5 |
| 2.1 | Inquadramento geografico | Pag. 5 |
| 2.2 | Inquadramento geologico | Pag. 6 |
| 2.3 | Descrizione dell'assetto idrogeologico generale | Pag. 7 |
| 2.4 | Descrizione dell'assetto litostratigrafico ed idrogeologico locale | Pag. 8 |
| 2.5 | Indagini geognostiche a caratterizzazione del sito | Pag. 12 |
| 2.6 | Descrizione dei risultati delle indagini geognostiche | Pag. 13 |
| 2.6.1 | <i>Sondaggi geognostici</i> | Pag. 13 |
| 2.6.2 | <i>Analisi granulometriche</i> | Pag. 16 |
| 2.6.3 | <i>Prove di permeabilità su piezometro tipo Lefranc</i> | Pag. 17 |
| 2.6.4 | <i>Prova di emungimento a portata costante</i> | Pag. 21 |
| 2.6.5 | <i>Prove di permeabilità su piezometro (Slug Test)</i> | Pag. 23 |
| 2.6.6 | <i>Prove di conducibilità idraulica mediante permeametro di Guelph</i> | Pag. 24 |
| 2.7 | Carta piezometrica | Pag. 27 |
| 2.8 | Considerazioni finali | Pag. 29 |
| 3. | CARATTERIZZAZIONE DEI PUNTI SENSIBILI AI FINI DEL RISCHIO ASSOCIATO | Pag. 32 |
| 3.1 | Normativa e documentazione procedurale interna di riferimento | Pag. 34 |
| 3.2 | Descrizione delle aree antropiche oggetto di indagine | Pag. 35 |
| 3.2.1 | <i>Area serbatoi da 20.000 m³</i> | Pag. 35 |
| 3.2.2 | <i>Area serbatoi da 100.000 m³</i> | Pag. 38 |
| 3.3 | Metodica operativa | Pag. 41 |
| 3.4 | Valutazione analitica del rischio | Pag. 46 |
| 3.5 | Analisi dei risultati | Pag. 51 |
| 3.6 | Analisi di compatibilità dei sistemi di sicurezza | Pag. 54 |
| 3.7 | Analisi di compatibilità delle procedure interne | Pag. 61 |
| 3.7.1 | <i>Ipotesi di miglioramento</i> | Pag. 63 |
| 4. | FASE SPERIMENTALE DI SIMULAZIONE | Pag. 64 |
| 4.1 | Fasi operative | Pag. 64 |
| 4.1.1 | <i>Ricostruzione granulometrica del suolo caricato negli impianti pilota</i> | Pag. 64 |
| 4.1.2 | <i>Modalità di sversamento</i> | Pag. 67 |
| 4.1.3 | <i>Descrizione degli impianti pilota</i> | Pag. 68 |
| 4.2 | Eventi di simulazione | Pag. 70 |
| 4.2.1 | <i>Sversamento di OCD in condizioni climatiche di tipo secco</i> | Pag. 70 |
| 4.2.2 | <i>Sversamento di OCD in condizioni climatiche di tipo umido</i> | Pag. 78 |

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 3 di 97 | |

| | | |
|------------|--|---------|
| 4.3 | Campionamento delle matrici | Pag. 87 |
| 4.3.1 | <i>Matrice solida</i> | Pag. 87 |
| 4.3.2 | <i>Matrice liquida-acquosa</i> | Pag. 87 |
| 4.4 | Metodologie analitiche per suoli ed acqua | Pag. 88 |
| 4.5 | Metodologie analitiche per suoli ed acqua | Pag. 90 |
| 4.5.1 | <i>Olio combustibile denso (OCD) sversato</i> | Pag. 90 |
| 4.5.2 | <i>Suolo</i> | Pag. 91 |
| 4.5.3 | <i>Acqua</i> | Pag. 93 |
| 5. | CONCLUSIONI | Pag. 94 |
| 6. | ALLEGATI | Pag. 97 |

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 4 di 97 | |

1. PREMESSA

Il presente studio si pone l'obiettivo di valutare in via sperimentale il potenziale rischio di contaminazione del suolo all'interno dei bacini di contenimento dei depositi di olio combustibile denso (OCD) asserviti alla Centrale Termoelettrica Edipower S.p.A. di Turbigo (MI), a seguito di un evento accidentale di sversamento di prodotto sul suolo medesimo, nonché l'interessamento che tale situazione potrebbe avere sulla matrice acque sotterranee.

Tale studio si inserisce nel programma ambientale 2003 – 2005 della centrale [obiettivo 3.04] del programma EMAS, e rientra nell'ambito di quanto convenuto dalla società Edipower S.p.A. con l'ARPA – Distretto di Parabiago e con il Comune di Turbigo.

Al fine di perseguire tale obiettivo, Edipower S.p.A. ha incaricato la società Fenice S.p.A. di sviluppare un programma mirato di attività sia in campo che in laboratorio, il quale è stato condotto presso le strutture Fenice S.p.A. del Centro Servizi Ecologici di Cascine Vica – Rivoli (TO) e del Centro Ricerche e Servizi Ambientali di Marina di Ravenna (RA).

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 5 di 97 | |

2. CONTESTO IDROGEOLOGICO

2.1 Inquadramento geografico

Il sito oggetto dell'indagine è localizzato in parte nel territorio del Comune di Turbigo ed in parte nel Comune di Robecchetto con Induno entrambi in Provincia di Milano.

A grande scala la zona è ubicata all'interno dell'area industriale posta a Sud dei suddetti concentrici abitativi, in un settore compreso tra il Naviglio Grande a Nord, la Ferrovia Novara-Seregno ad Est e la Strada Comunale della Folla a Sud Est (*Figura 1*).

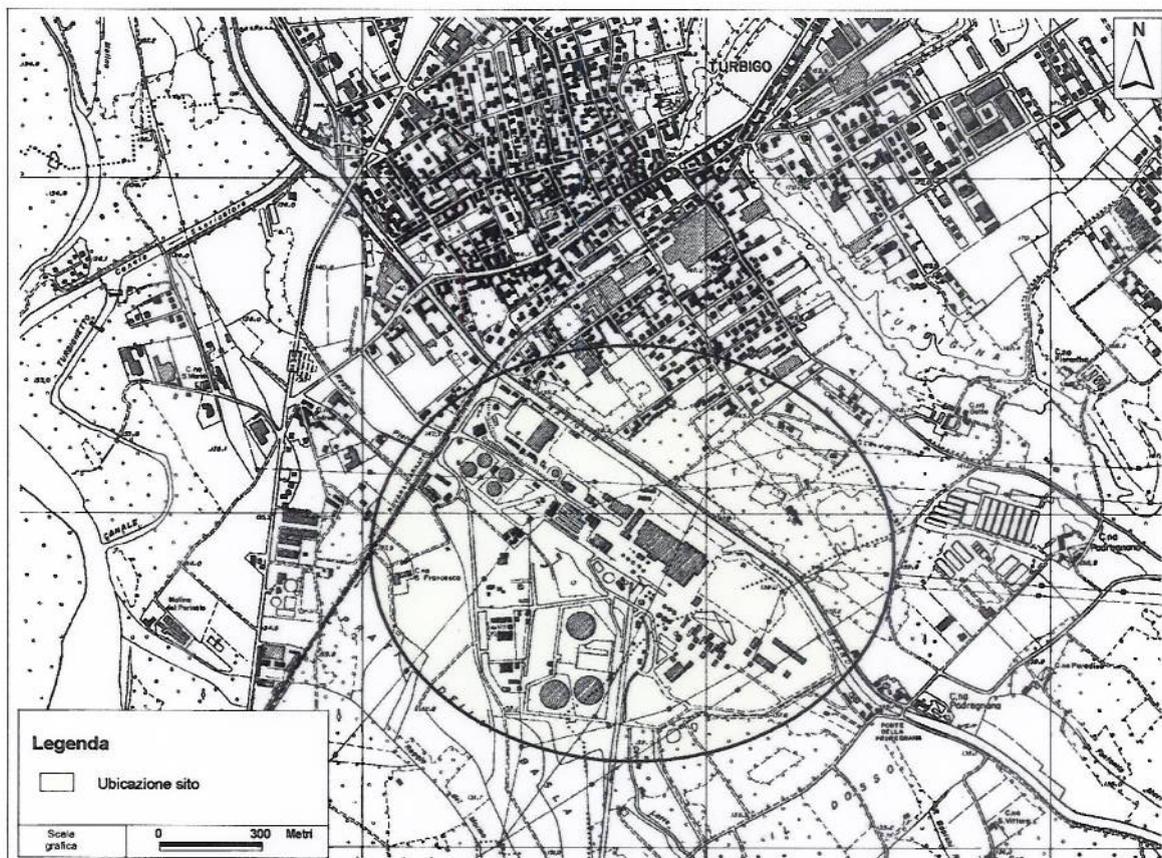


Figura 1 *Ubicazione del sito alla scala 1:10.000*
(Carta Tecnica Regionale della Regione Lombardia – Sigla sezioni A6 c1 – A6 c2)

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 6 di 97 | |

2.2 Inquadramento geologico

L'area oggetto dell'indagine presenta una morfologia subpianeggiante, debolmente digradante verso Sud - Est, ad una quota di circa 138 metri s.l.m. ed è ubicata in corrispondenza di un terrazzo morfologico rilevato di circa 5 metri rispetto al reticolato idrografico attuale (rappresentato dal Fiume Ticino, che scorre in direzione circa Nord Ovest – Sud Est, ad una distanza di circa un chilometro e mezzo a est dell'area in oggetto). Tale terrazzo risulta inciso e parzialmente ricoperto dai depositi fluviali geneticamente legati all'azione erosivo - deposizionale del reticolato idrografico.

Facendo riferimento alla cartografia geologica ufficiale ed alle relative note illustrative ⁽¹⁾, il contesto geologico di superficie dell'area in esame è rappresentato da depositi di origine fluvioglaciale e fluviale.

I depositi fluvioglaciali (Pleistocene medio - Pleistocene superiore), costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie con subordinati livelli limoso - argillosi, sono geneticamente legati alle rispettive cerchie moreniche, e formano una serie di terrazzi di età decrescente dai più rilevati a quelli a quota minore.

Al loro interno, è possibile operare la seguente suddivisione:

- Fluvioglaciale Wurm – Riss (fl^R della Carta Geologica d'Italia): sono alluvioni fluvioglaciali ghiaiose, localmente molto grossolane, con paleosuolo argilloso giallo – rossiccio di spessore ridotto talora ricoperte da limi più recenti.

¹ G. P. BRAGA, U. RAGNI (1969): "Note illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000", Fogli n° 44 e 58 NOVARA - MORTARA (II edizione), Serv. Geol. It., Roma.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 7 di 97 | |

- Alluvioni antiche - Olocene (a¹ della Carta Geologica d'Italia): alluvioni terrazzate ciottolose o ghiaioso – sabbiose sospese sui corsi d'acqua; il limite con il Fluvioglaciale Wurm – Riss è contraddistinto da un terrazzo morfologico.

Il sito in esame è posto in corrispondenza delle Alluvioni antiche di età olocenica.

2.3 Descrizione dell'assetto idrogeologico generale

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico e da dati bibliografici ², i depositi del sottosuolo dell'area vasta in cui si inserisce il sito in oggetto possono essere raggruppati nei seguenti complessi idrogeologici:

- Litozona ghiaioso sabbiosa: costituita da depositi fluvio-glaciali di età pleistocenica a prevalente granulometria grossolana quali ghiaie e sabbie grossolane. Tali depositi rappresentano il “livello fondamentale della pianura”; sono essenzialmente di natura continentale legati a fenomeni fluvio-glaciali e raggiungono spessori superiori ai 50 metri dal piano campagna; localmente sono tuttavia presenti alcuni livelli lenticolari a granulometria più fine rappresentati da limi argille.
- Litozona sabbioso argillosa: costituita da depositi più antichi a prevalente granulometria fine quali sabbie argillose di età pliocenica; localmente sono presenti dei livelli torbosi nerastri.

²) Studio Tecnico K – “Concessione di grande derivazione di acqua pubblica sotterranea – Relazione Idrogeologica” Aprile 2004

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 8 di 97 | |

- Litozona argillosa: costituita da materiali a prevalente granulometria fine quali argille ed argille debolmente sabbiose caratterizzati da bassi valori di permeabilità.

In particolare il sito in oggetto si colloca in corrispondenza della Litozona ghiaioso sabbiosa di età pleistocenica.

2.4 Descrizione dell'assetto litostratigrafico ed idrogeologico locale

Per ricostruire in dettaglio l'assetto litostratigrafico del sottosuolo dell'area indagata sono state realizzate due sezioni litostratigrafiche attraverso l'area oggetto di studio; a tal fine sono stati utilizzati i dati litostratigrafici ricavati dalle stratigrafie dei sondaggi geognostici e dei pozzi presenti all'interno della Centrale.

La traccia delle sezioni è visualizzata in *Figura 2*.

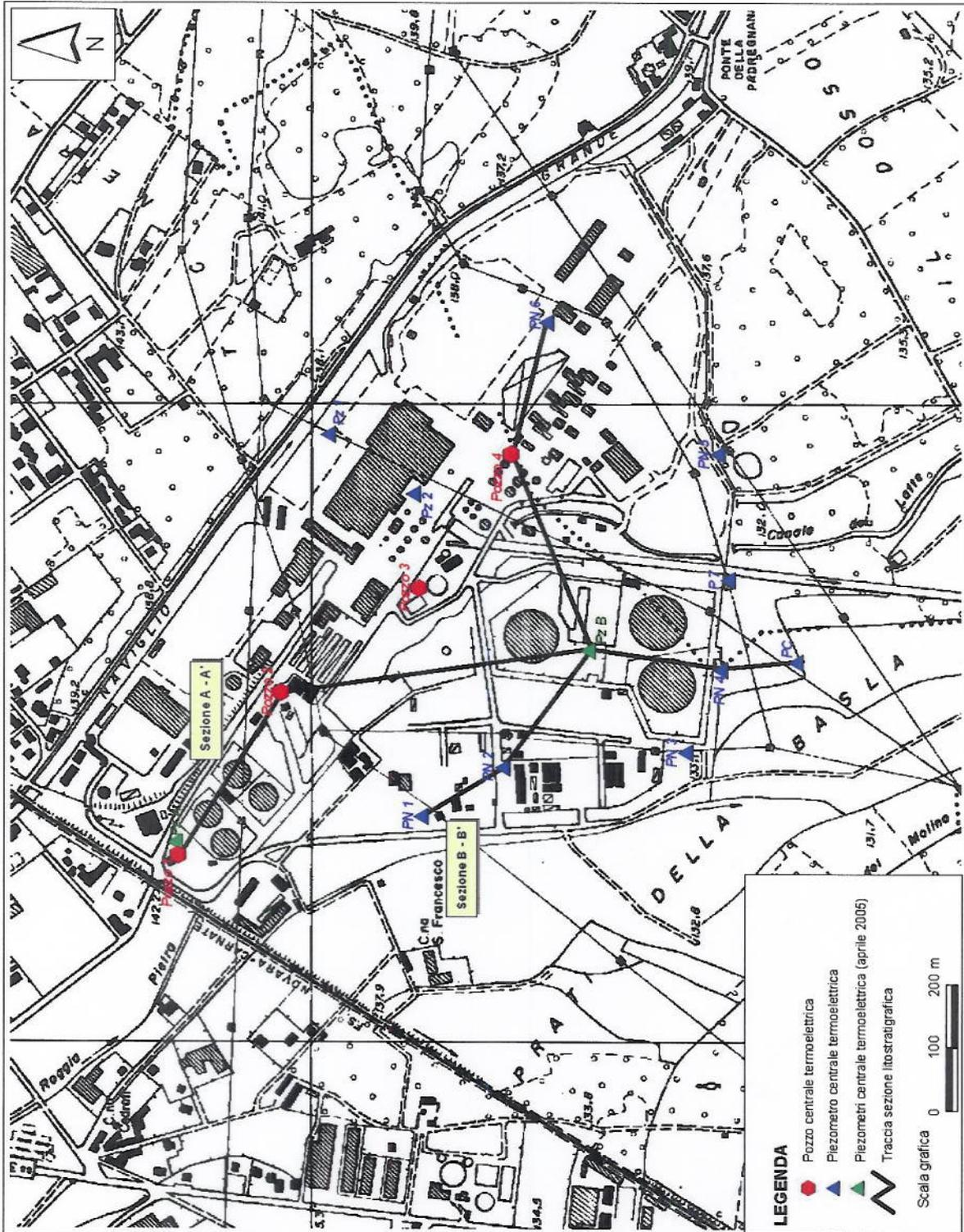


Figura 2 – Traccia delle sezioni litostratigrafiche

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 10 di 97 | |

Dalla analisi delle sezioni litostratigrafiche (*Figura 3*) è possibile individuare la presenza di un potente orizzonte caratterizzato da ghiaie grossolane con ciottoli spesso fino ad una ventina di metri che tende ad assottigliarsi verso Sud, passando verso il basso ad un livello prevalentemente ghiaioso sabbioso.

Al di sotto di tale complesso si ha un arricchimento in sabbie medio fini con rara ghiaia; in corrispondenza del Pozzo 4, ed a profondità superiori ai 40 – 45 metri, si è rinvenuto infine un locale livello argilloso appartenente alla omonima litozona.

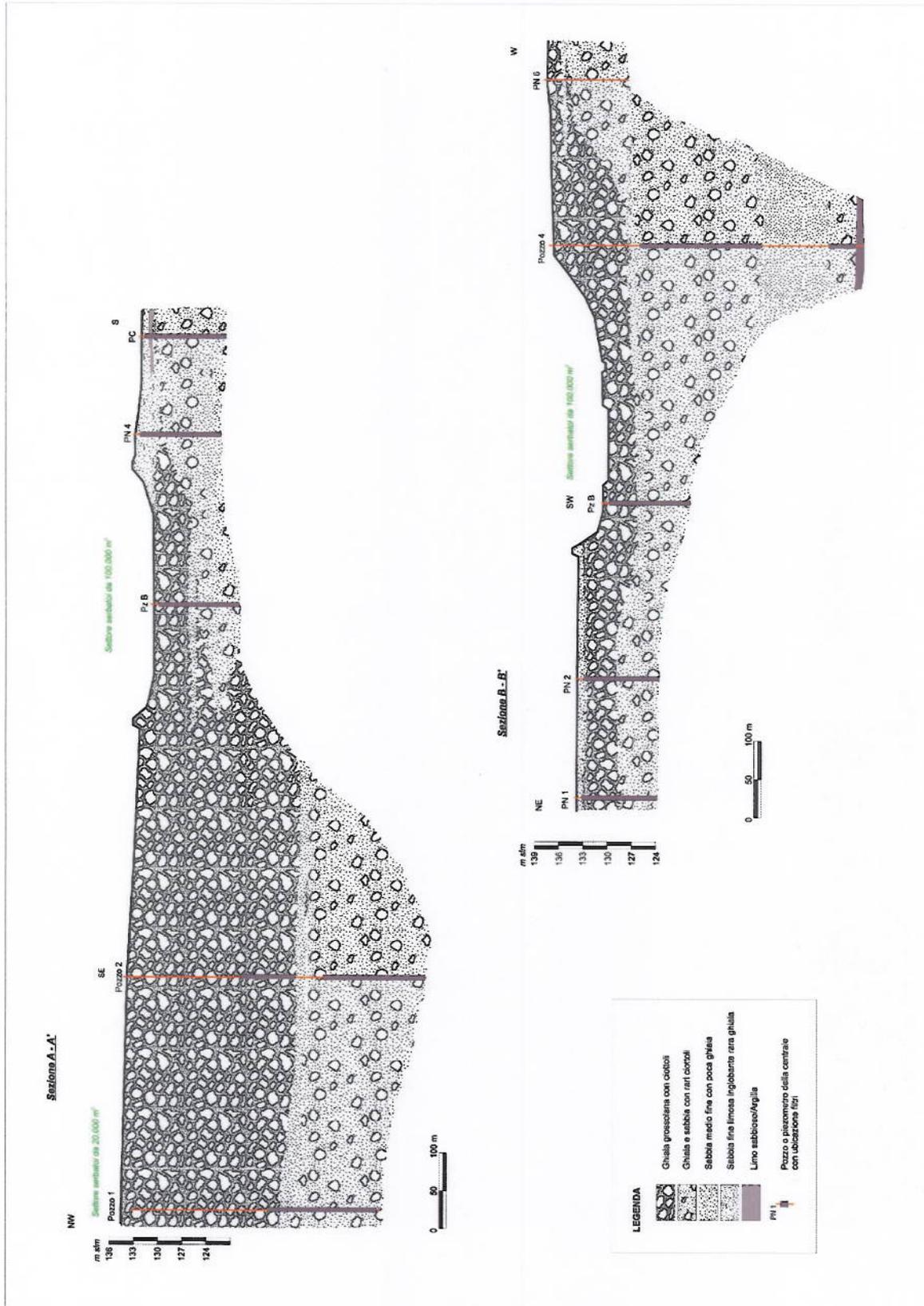


Figura 3 – Sezioni litostratigrafiche

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 12 di 97 | |

2.5 Indagini geognostiche a caratterizzazione del sito

Per definire il modello idrogeologico locale e verificare le caratteristiche del sottosuolo nell'area della Centrale Termoelettrica di Turbigo (Prov. Mi) sono state svolte nel periodo Aprile - Maggio 2005 le seguenti indagini geognostiche:

- n° 2 sondaggi geognostici ubicati tutti all'interno della centrale entrambi attrezzati a piezometro.

Sono state inoltre eseguite:

- n° 20 analisi granulometriche su campioni di terreno provenienti da:
 - n° 4 campioni da fori di sondaggio
 - n° 16 campioni di terreno superficiale
- n° 2 prove di permeabilità tipo Lefranc in corrispondenza dei piezometri di nuova realizzazione;
- n° 1 prova di emungimento a portata costante;
- n° 2 prove di permeabilità tipo "Slug Test" in corrispondenza dei piezometri di nuova realizzazione;
- n° 8 prove di conducibilità idraulica mediante permeametro di Guelph.

Le analisi granulometriche sui terreni e le prove di conducibilità idraulica mediante permeametro di Guelph sono state eseguite con la collaborazione del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino - Laboratorio di Caratterizzazione Terreni e Acquiferi.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 13 di 97 | |

2.6 Descrizione dei risultati delle indagini geognostiche

2.6.1 - Sondaggi geognostici

Nel mese di Aprile 2005 è stata completata l'esecuzione, sotto la direzione lavori degli Scriventi, di n° 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo profondi 10 metri dal piano campagna, la cui ubicazione è riportata in Figura 4.

Il carotaggio è stato condotto con perforazione a secco, senza fluido di perforazione, usando un carotiere di diametro idoneo a prelevare campioni indisturbati e mantenendo bassa la velocità di rotazione in modo da ridurre l'attrito tra suolo e attrezzo campionatore, evitando fenomeni di surriscaldamento.

Le perforazioni sono state eseguite evitando l'immissione di composti estranei, adottando grasso vegetale come lubrificante per le zone filettate, l'uso di rivestimenti, corone e scarpe non verniciate, la pulizia di tutte le parti delle attrezzature tra una manovra e l'altra, e tra un sondaggio ed il successivo. Le pareti dei fori sono state parzialmente sostenute con tubazioni di rivestimento provvisorie (diametro Ø 152 mm), onde evitare fenomeni di franamento del materiale all'interno del foro di sondaggio.

Sono state impiegate modeste quantità di fluido di circolazione (acqua priva di additivi chimici) immesso con circolazione diretta, avente funzione di raffreddamento dell'utensile di alesatura del foro (scarpa del rivestimento) e di spinta e trasporto dei detriti in superficie; il fluido è stato immesso in foro a pressioni.

Al termine delle operazioni di sondaggio, entrambi i sondaggi sono stati attrezzati con piezometri a tubo aperto in PVC di diametro Ø 3", quindi eseguite le operazioni di spurgo, fino alla completa chiarificazione dell'acqua.



Figura 4 - Ubicazione dei sondaggi geognostici e prove in situ

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 15 di 97 | |

Le stratigrafie dei sondaggi sono riportate in *Allegato 2*; nella tabella seguente sono sintetizzate le caratteristiche dei sondaggi e l'assetto litostratigrafico:

| <i>Sigla</i> | <i>Profondità Sondaggio (m p. c.)</i> | <i>Profondità Filtri (m p. c.)</i> | <i>Stratigrafia Sondaggio (m p. c.)</i> |
|--------------|---------------------------------------|------------------------------------|--|
| Pz A | 10 m | -1 ÷ -10 | 0.00 – 1.50 m Ghiaia sabbiosa grigia con ciottoli 1.50 – 2.00 m Sabbia medio grossolana 2.00 – 3.00 m Ghiaia sabbioso ciottolosa con limo ed argilla 3.00 – 10.00 m Ghiaia sabbiosa |
| Pz B | 10 m | -1 ÷ -10 | 0.00 – 2.50 m Ghiaia con sabbia 2.50 – 4.30 m Ghiaia e sabbia media grossolana con ciottoli 4.30 – 5.00 m Sabbia media grigia 5.00 – 10.00 m Ghiaia con sabbia |

Tabella 1 – Caratteristiche dei sondaggi geognostici

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 16 di 97 | |
| | | | | |

2.6.2 – Analisi granulometriche

Durante l'esecuzione delle indagini a caratterizzazione del suolo e sottosuolo sono stati prelevati alcuni campioni di terreno da sottoporre ad analisi granulometriche.

In dettaglio sono state eseguite n° 20 analisi granulometriche di cui:

- n° 4 analisi di campioni provenienti da foro di sondaggio
- n° 16 analisi di campioni di terreno superficiale provenienti da scavo.

Lo schema di campionamento e la sintesi dei risultati è riportato nella tabella seguente.

| | <i>Sigla campione</i> | <i>Profondità campione (m da p.c.)</i> | <i>Classificazione A. G. I.</i> |
|--|-----------------------|--|---|
| <i>Campioni da foro di sondaggio</i> | <i>Pz A Cr A</i> | 2.70 - 3.00 | Ghiaia sabbioso ciottolosa con limo e argilla |
| | <i>Pz A Cr B</i> | 8.40 - 8.60 | Ghiaia sabbiosa |
| | <i>Pz B Cr A</i> | 2.00 - 2.30 | Ghiaia con sabbia |
| | <i>Pz B Cr B</i> | 6.10 - 6.40 | Ghiaia con sabbia |
| <i>Campioni di terreno superficiale provenienti da scavo</i> | 1 A | 0.00 - 0.15 | Ghiaia debolmente sabbiosa con ciottoli |
| | 1 B | 0.15 - 0.30 | Ghiaia debolmente sabbiosa con ciottoli |
| | 2 A | 0.00 - 0.15 | Ghiaia debolmente sabbiosa con ciottoli |
| | 2 B | 0.15 - 0.30 | Ghiaia sabbiosa con ciottoli |
| | 3 A | 0.00 - 0.15 | Ghiaia debolmente sabbiosa con ciottoli |
| | 3 B | 0.15 - 0.30 | Ghiaia debolmente sabbiosa con ciottoli |
| | 4 A | 0.00 - 0.15 | Ghiaia sabbiosa debolmente limosa |
| | 4 B | 0.15 - 0.30 | Ghiaia debolmente sabbiosa con ciottoli |
| | 5 A | 0.00 - 0.15 | Ghiaia con sabbia e ciottoli |
| | 5 B | 0.15 - 0.30 | Ghiaia sabbiosa con ciottoli |
| | 6 A | 0.00 - 0.15 | Ghiaia sabbiosa con ciottoli |
| | 6 B | 0.15 - 0.30 | Ghiaia sabbiosa con ciottoli |
| | 7 A | 0.00 - 0.15 | Ghiaia sabbiosa con ciottoli |
| | 7 B | 0.15 - 0.30 | Ghiaia sabbiosa con ciottoli |
| | 8 A | 0.00 - 0.15 | Ghiaia sabbioso ciottolosa debolmente limosa |
| | 8 B | 0.15 - 0.30 | Ghiaia ciottolosa con sabbia |

Tabella 2 – Campioni di terreno sottoposti ad analisi granulometrica

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 17 di 97 | |

Le analisi granulometriche effettuate sui campioni di terreno provenienti sia dai fori di sondaggio sia di terreno superficiale hanno indicato una granulometria prevalentemente ghiaioso sabbiosa.

I certificati delle analisi granulometriche sono riportati in *Allegato 3 e 4*.

2.6.3 – Prove di permeabilità su piezometro tipo Lefranc

Le prove di permeabilità Lefranc sono state eseguite a differenti profondità all'interno di n° 2 fori di sondaggio, appositamente eseguiti, ubicati in corrispondenza rispettivamente dell'area serbatoi da 20.000 m³ e dell'area serbatoi da 100.000 m³.

Per ogni foro, sono state eseguite n° 2 prove nella zona sottoposta a trattamento, alle profondità di circa 4.5 metri e 9 metri.

Le prove sono state compiute in avanzamento durante la esecuzione del sondaggio, interrompendo periodicamente la perforazione alle profondità stabilite.

Per tutte le prove, a causa del modesto assorbimento di acqua nel foro, è stato utilizzato il metodo a carico variabile, stabilizzando il livello dell'acqua nel foro ad un livello superiore a quello della falda e misurando i tempi di abbassamento del livello.

Gli schemi di esecuzione delle prove Lefranc, prove condotte secondo le indicazioni dell'A.G.I. 1977 ⁽³⁾, sono riportati di seguito.

³⁾ ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA (1977): "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche", Roma.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 18 di 97 | |

Nelle prove a carico variabile, il livello dell'acqua nel foro è stato innalzato immettendo acqua dall'esterno ed osservando la velocità di stabilizzazione a partire dal momento in cui è cessata l'immissione di acqua.

Le letture degli abbassamenti del livello dell'acqua nel foro sono state condotte per intervalli di tempo prestabiliti, e la durata delle prove è stata di circa 30 - 40 minuti, e comunque fino a raggiungere la stabilizzazione del livello.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 19 di 97 | |
| | | | | |

Il valore del coefficiente di permeabilità K è stato calcolato mediante l'espressione:

$$K = \frac{A}{F \cdot T}$$

dove:

A = area della sezione di base del rivestimento (in m^2)

F = coefficiente di forma, dipendente dalla forma e dalle dimensioni (in metri) del tratto in prova, e dal contesto stratigrafico di riferimento

T = basic time - lag o tempo di riequilibrio (espresso in secondi).

Il valore del fattore di forma è stato calcolato secondo le formule di Hvorslev ⁽⁴⁾ considerando un tratto in prova di forma cilindrica, in terreno a granulometria uniforme.

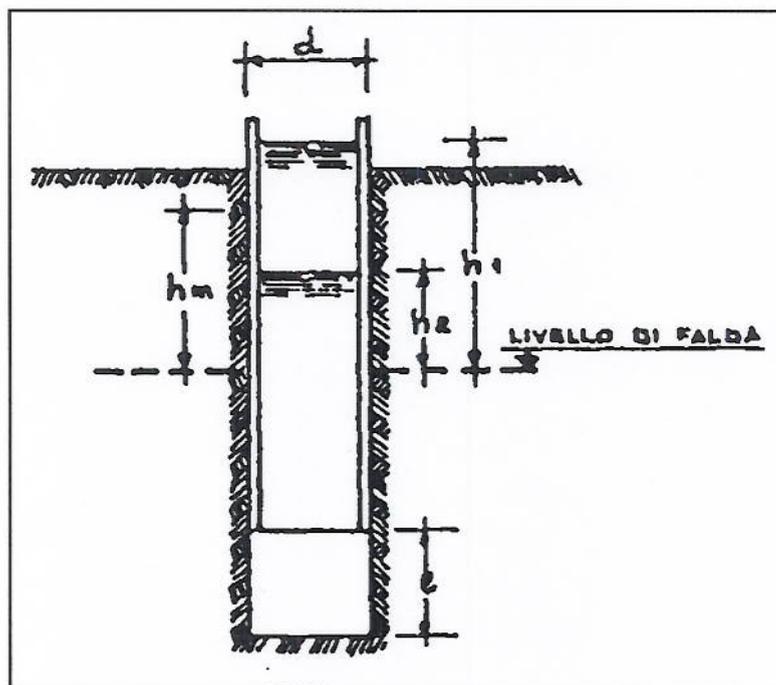


Figura 5 - Schema di prova di immissione Lefranc in foro di sondaggio

⁴⁾ HVORSLEV M.J. (1951): "Time lag and soil permeability in groundwater observations", Corps of Eng., WES, Bull. N° 36, Vicksburg (USA).

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 20 di 97 | |

Nella tabella seguente sono sintetizzati i valori del coefficiente di permeabilità ricavati dalle prove per ogni intervallo indagato.

| <i>Prova n°</i> | <i>Ubicazione</i> | <i>Profondità (m da p.c.)</i> | <i>Coefficiente di permeabilità</i> |
|-----------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | Pz A | 4.50 mt | 2.599 E -05 m/sec |
| 2 | Pz A | 9.00 mt | 2.547 E -06 m/sec |
| 3 | Pz B | 4.50 mt | 2.384 E -05 m/sec |
| 4 | Pz B | 9.00 mt | non determinato |

Tabella 3 – Risultati delle prove di permeabilità Lefranc

A causa di anomalie locali i valori di permeabilità ottenuti mediante le prove Lefranc risultano sottostimati rispetto alla media generale.

In *Allegato 5* sono riportati i certificati delle prove eseguite.

2.6.4 – Prova di emungimento a portata costante

Per quanto riguarda l'acquifero superficiale contenente la falda superficiale di tipo libero, si può fare riferimento alla prova di emungimento eseguita nell'Aprile 2005; a tale scopo è stato appositamente realizzato un piezometro di controllo in prossimità (10 metri) del Pozzo 1, che è stato utilizzato come punto di misura.

La prova di emungimento a portata costante eseguita in data 21 Aprile 2005, ha avuto inizio alle ore 13:25 e si è conclusa il giorno successivo.

La portata emunta è stata di 14 l/s.

I punti sono stati disposti in un grafico semilogaritmico, tempo - abbassamento, e la prova è stata quindi interpretata secondo il metodo di Jacob (cfr. grafico di *Figura 6*).

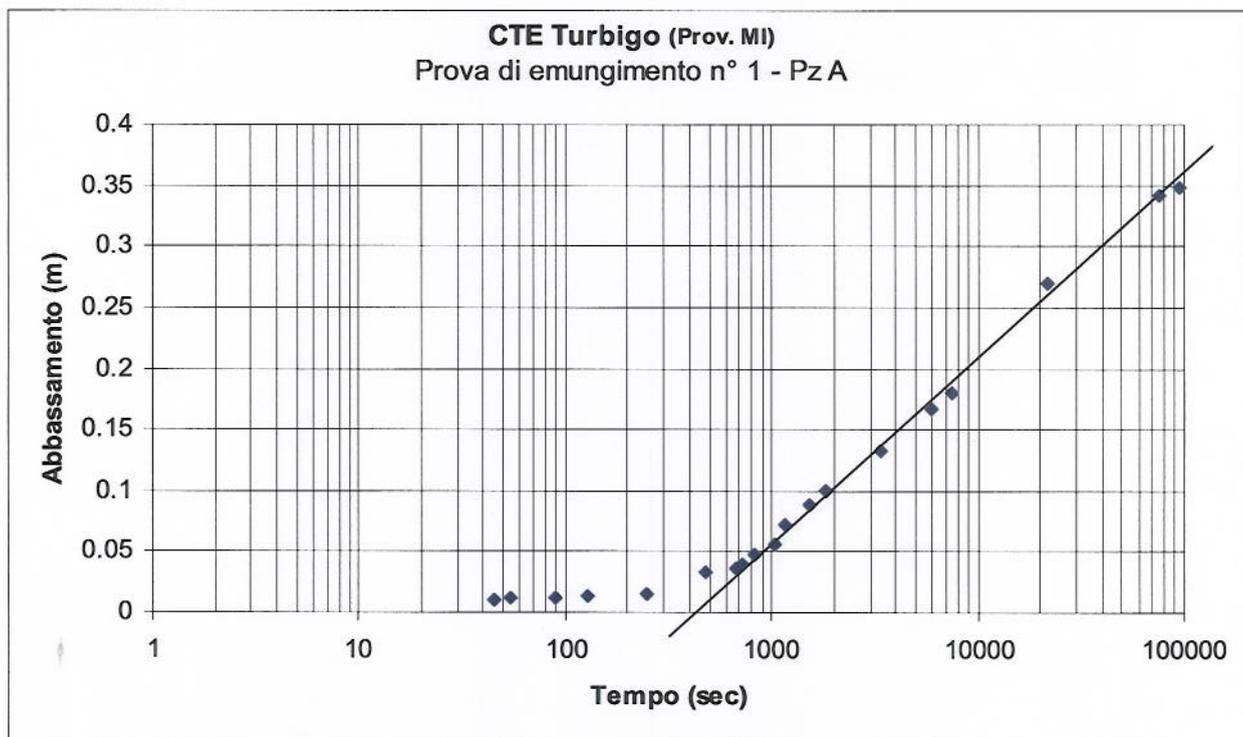


Figura 6 – Prova di emungimento n°1 Pz A

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 22 di 97 | |

I dati sono riassunti nella tabella seguente.

| Prova di emungimento a portata costante | | | |
|--|---------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Data: 21/04/2005 | | | |
| Pozzo 1 | h 13.25 | | livello statico = 2.01 |
| Pz A | h 13.26 | | livello statico = 1.63 |
| Tempo (s) | Soggiacenza c/o Pz A | Abbassamento (m) | |
| 0 | 1.63 | 0 | |
| 46 | 1.64 | 0.01 | |
| 55 | 1.641 | 0.011 | |
| 90 | 1.642 | 0.012 | |
| 130 | 1.643 | 0.013 | |
| 252 | 1.645 | 0.015 | |
| 476 | 1.662 | 0.032 | |
| 682 | 1.6733 | 0.0433 | |
| 731 | 1.6863 | 0.0563 | |
| 827 | 0.06 | 0.06 | |
| 915 | 1.695 | 0.065 | |
| 1033 | 1.7 | 0.07 | |
| 1268 | 1.71 | 0.08 | |
| 1663 | 1.735 | 0.105 | |
| 3373 | 1.763 | 0.133 | |
| 5957 | 1.806 | 0.176 | |
| 7482 | 1.81 | 0.18 | |
| 21600 | 1.9 | 0.27 | |
| 76736 | 1.972 | 0.342 | |
| 96605 | 1.978 | 0.348 | |

La prova di emungimento a portata costante ha permesso di ricavare i seguenti parametri riassuntivi:

Portata (Q): 0.014 m³/s

Tramissività (T): 0.01708 m²/s

Conducibilità idraulica (K): 5.69 E-04 m/s

Coefficiente di immagazzinamento (S): 1.73 E-01

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 23 di 97 | |
| | | | | |

2.6.5 – Prove di permeabilità su piezometro (Slug Test)

Nell'area oggetto di studio, sono state eseguiti prove di permeabilità in situ "Slug Test" finalizzati alla valutazione della permeabilità dei terreni su n° 2 piezometri.

La prova per ogni singolo piezometro è stata eseguita producendo istantaneamente un brusco aumento del livello statico misurato nel piezometro attivo e monitorando nel tempo il successivo abbassamento di livello; per produrre l'aumento del livello statico è stato inserito un volume noto d'acqua.

Il metodo utilizzato per interpretare i dati ottenuti dagli "Slug Test" è quello proposto da Bouwer e Rice (1976).

I risultati delle prove sono riassunti nella tabella seguente.

| Sigla Pz | Pz A | Pz B |
|----------------------|-------------|-------------|
| K (m/s) | 1.0176 E-04 | 1.0446 E-04 |
| K media (m/s) | 1.0311 E-04 | |

Tabella 4 – Valori di permeabilità ottenuti dagli Slug Test

Dall'analisi dei dati ottenuti dalle prove, il valore medio di conducibilità idraulica è risultato pari a $K_{media} = 1.0311 \text{ E-04 m/s}$.

Tale valore permette di attribuire ai terreni costituenti il sottosuolo dell'area oggetto di studio una permeabilità alta (*Figura 7*).

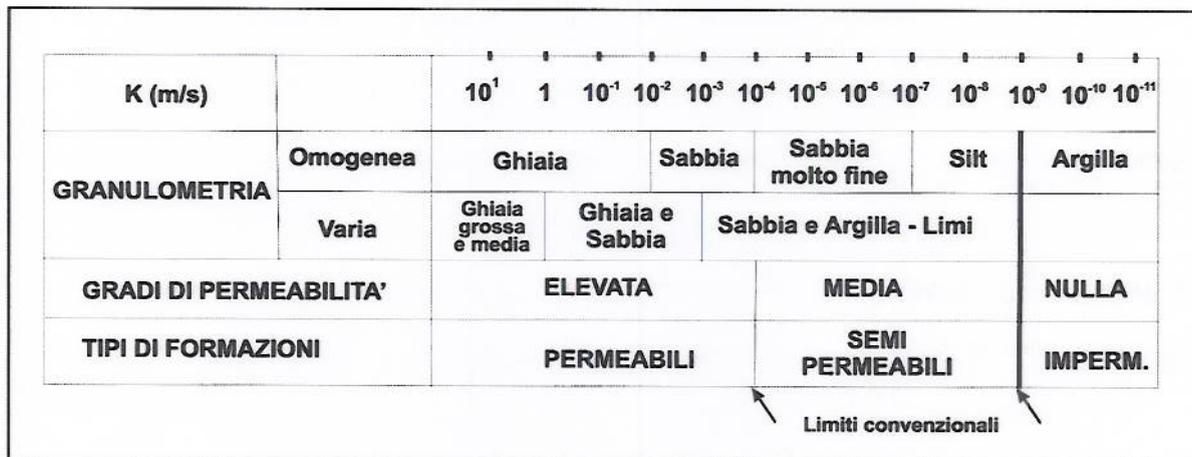


Figura 7 - Valori di conducibilità idraulica dei sistemi naturali (da Castany, 1985)

I certificati delle prove di permeabilità sono riportati in *Allegato 6*.

2.6.6 – *Prove di conducibilità idraulica mediante permeametro di Guelph*

Per determinare le caratteristiche di permeabilità dei terreni superficiali del sito oggetto di studio, sono state eseguite n° 16 prove di conducibilità idraulica, delle quali n° 8 sull'intervallo di profondità 0.00 – 0.15 metri e n° 8 sull'intervallo di profondità 0.15 – 0.30 metri.

A tal fine lo strumento utilizzato è stato il permeametro di Guelph (*Figura 8*), strumento che opera a carico idraulico costante per effettuare delle valutazioni in sito sulla conducibilità idraulica del terreno.

L'ubicazione delle prove eseguite è riportata in *Figura 4*.

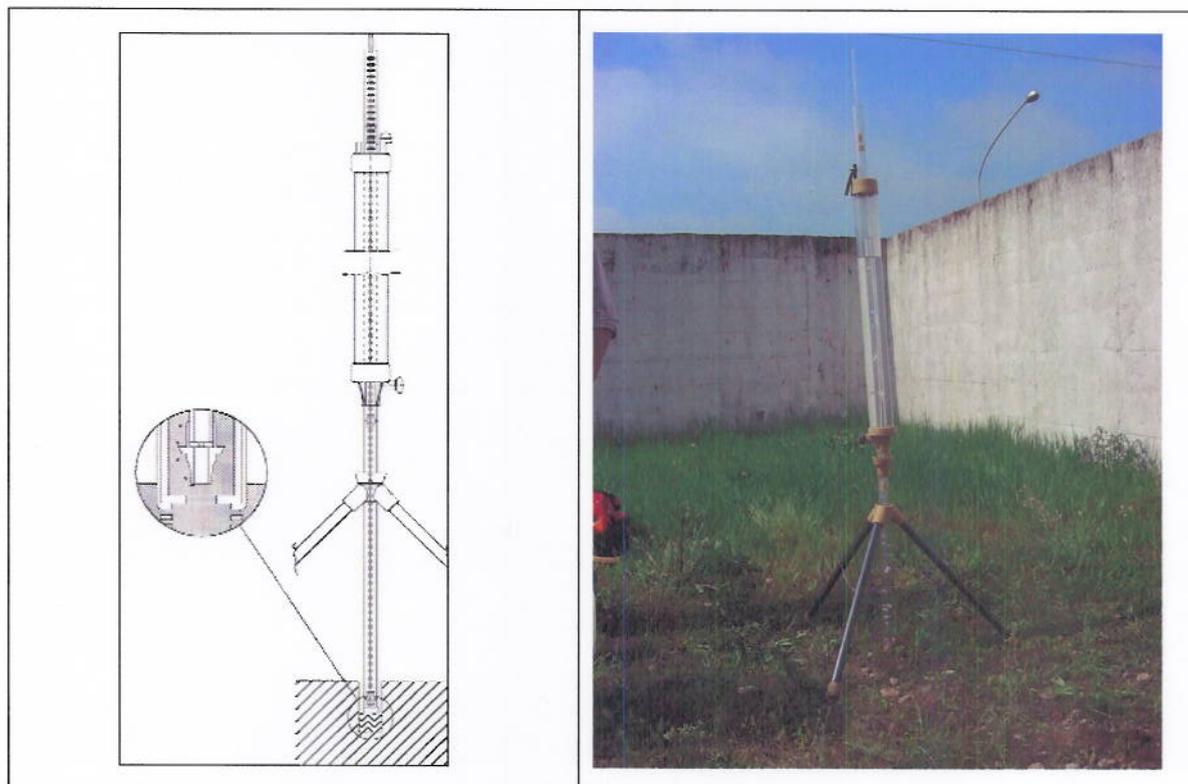


Figura 8 - Schema e fotografia del Permeametro di Guelph

Nella tabella seguente sono sintetizzati i valori del coefficiente di permeabilità ricavati dalle prove per ogni macroarea indagata.

| Prova | Profondità (m da p.c.) | Kfs (m/s) |
|--------------|-----------------------------------|----------------------|
| 1a | 0.15 | 2.11E-04 |
| 1b | 0.30 | 1.21E-04 |
| 2a | 0.15 | 2.20E-04 |
| 2b | 0.30 | 1.09E-04 |
| 3a | 0.15 | 2.39E-04 |
| 3b | 0.30 | 1.45E-04 |
| 4a | 0.15 | 8.00E-05 |
| 4b | 0.30 | 5.30E-04 |
| 5a | 0.15 | 3.40E-04 |
| 5b | 0.30 | 3.80E-04 |
| 6a | 0.15 | 2.30E-04 |
| 6b | 0.30 | 2.30E-04 |
| 7a | 0.15 | 2.50E-04 |
| 7b | 0.30 | 1.30E-04 |
| 8a | 0.15 | 8.00E-05 |
| 8b | 0.30 | 3.00E-04 |

Tabella 5 - Valori di conducibilità (Kfs) idraulica con permeametro di Guelph

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 26 di 97 | |

Dall'analisi dei dati ottenuti dalle prove, il valore medio di conducibilità idraulica per ogni intervallo di profondità indagato è:

- da 0.00 a 0.15 metri → $K_{fs(media)} = 2.06 \text{ E-04 m/s}$
- da 0.15 a 0.30 metri → $K_{fs(media)} = 2.43 \text{ E-04 m/s}$

Tali valori attribuiscono ai terreni superficiali dell'area oggetto di studio una permeabilità medio – alta.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 27 di 97 | |
| | | | | |

2.7 Carta piezometrica

Utilizzando tutti i piezometri installati all'interno dell'area di centrale, nel mese di Ottobre 2005 è stata eseguita una campagna di misure della soggiacenza della falda superficiale. Le misure sono riportate in *Tabella 6*.

| Sigla | X_Utm | Y_Utm | Quota (m slm) | Soggiacenza (m) | Livello Piezometrico (m slm) |
|--------------|--------------|--------------|--------------------------|----------------------------|---|
| Pz 1 | 1479952 | 5040973 | 138.66 | 2.71 | 135.95 |
| Pz 2 | 1479859 | 5040844 | 138.56 | 5.02 | 133.54 |
| PN 1 | 1479354 | 5040832 | 132.55 | 0.67 | 131.88 |
| PN 2 | 1479431 | 5040708 | 132.26 | 0.76 | 131.50 |
| PN 3 | 1479455 | 5040429 | 134.97 | 1.73 | 133.24 |
| PN 4 | 1479585 | 5040377 | 136.37 | 2.28 | 134.09 |
| PN 5 | 1479922 | 5040381 | 134.79 | 3.10 | 131.69 |
| PN 6 | 1480129 | 5040642 | 138.76 | 5.73 | 133.03 |
| P 7 | 1479726 | 5040365 | 131.59 | 1.10 | 130.49 |
| PC | 1479596 | 5040262 | 132.78 | 0.93 | 131.85 |
| Pz A | 1479313 | 5041206 | 134.83 | 1.50 | 133.33 |
| Pz B | 1479615 | 5040577 | 132.76 | 2.54 | 130.22 |

Tabella 6 - Dati piezometrici relativi ad Ottobre 2005

I valori di soggiacenza misurati (rif. testa piezometro) variano tra 0.60 metri e 5.70 metri rispetto alla quota assunta come riferimento al caposaldo interno.

L'elaborazione delle misure effettuate (delle quali alcune non sono state considerate per evidenti anomalie locali) ha permesso la realizzazione di una carta piezometrica relativa alla falda idrica superficiale (*Figura 9*) all'interno dell'area della centrale.

La direzione di deflusso sotterraneo della falda idrica superficiale, ortogonale alle linee isopieze, a scala locale risulta una direzione di deflusso sotterraneo medio all'incirca Nord Est – Sud Ovest attraverso tutta l'area occupata dalla centrale termoelettrica, con un valore del gradiente idraulico medio pari a 0.0054.

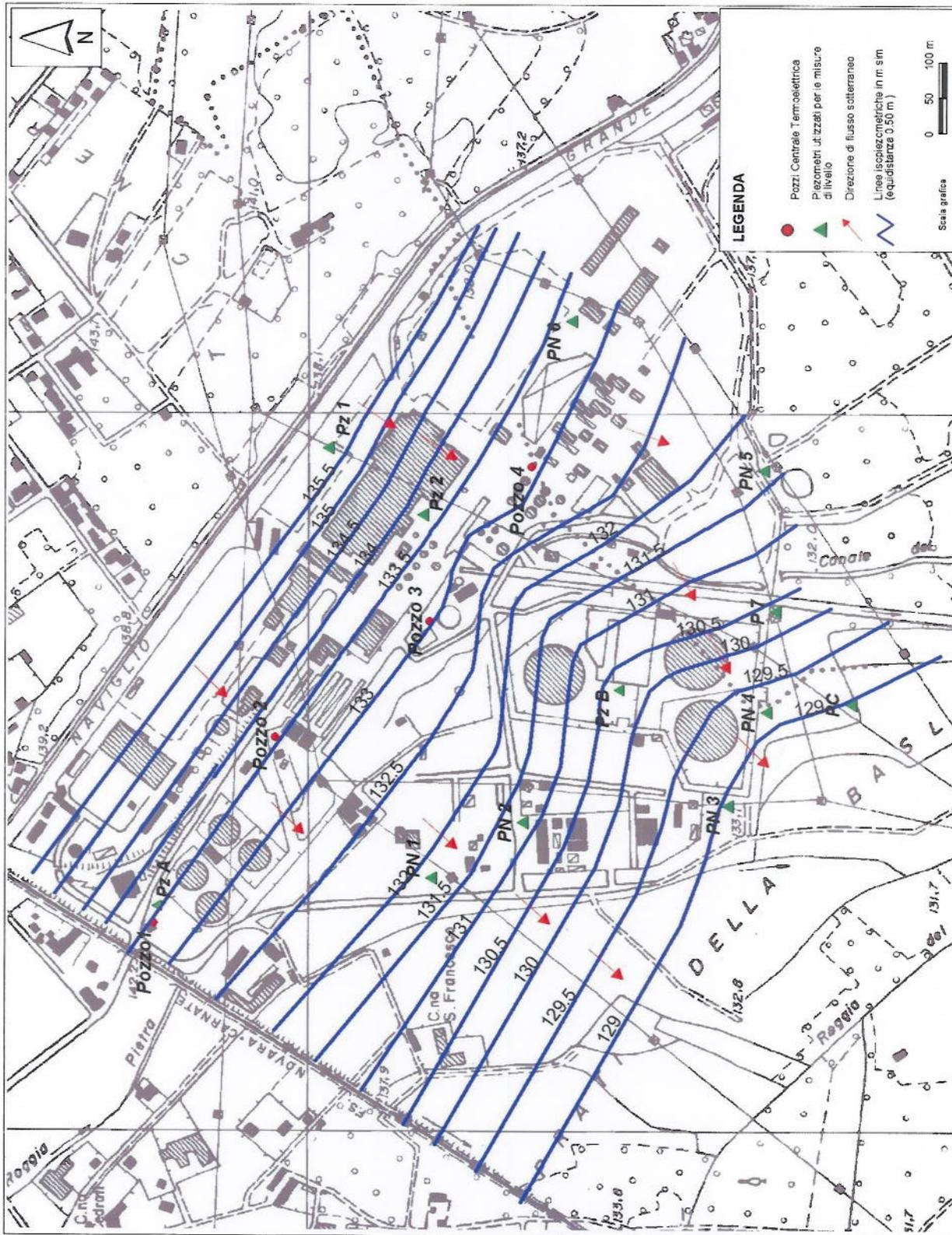


Figura 9 - Schema piezometrico della falda superficiale – Ottobre 2005

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 29 di 97 | |

2.8 Considerazioni finali

In base alla elaborazione dei dati idrogeologici locali ottenuti dalle prove condotte in sito, si riassumono gli elementi fondamentali dell'assetto idrogeologico locale del sito della Centrale Termoelettrica di Turbigo (Prov. MI):

- ⇒ il sito in esame è posto in corrispondenza delle *Alluvioni antiche* di età olocenica costituite da alluvioni terrazzate ciottolose o ghiaioso – sabbiose sospese sui corsi d'acqua;
- ⇒ per quanto riguarda l'assetto idrogeologico il sito è posto in corrispondenza della Litozona ghiaioso sabbiosa: costituita da depositi fluvio-glaciali di età pleistocenica a prevalente granulometria grossolana quali ghiaie e sabbie grossolane;
- ⇒ dalla analisi delle sezioni litostratigrafiche è stato possibile individuare la presenza di un orizzonte caratterizzato da ghiaie grossolane con ciottoli (potenza media 20 metri) che tende ad assottigliarsi verso Sud; tale orizzonte passa verso il basso ad un livello prevalentemente ghiaioso sabbioso, al di sotto del quali si trova un complesso caratterizzato da sabbie medio fini con rara ghiaia;

I risultati emersi dalle indagini geognostiche in situ ed in laboratorio per la caratterizzazione del sito indicano che:

- le analisi granulometriche effettuate sui campioni di terreno provenienti sia dai fori di sondaggio sia di terreno superficiale proveniente da scavo hanno indicato una granulometria prevalentemente ghiaioso sabbiosa;

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 30 di 97 | |
| | | | | |

- il valore medio del coefficiente di permeabilità ricavato dalle prove Lefranc per ogni intervallo indagato è risultato pari a:
 - da 0.00 a 4.50 metri → $K_{media} = 2.49 \text{ E-}05 \text{ m/s}$
 - da 4.50 a 9.00 metri → $K_{media} = 2.54 \text{ E-}06 \text{ m/s}$
- le caratteristiche dell'acquifero superficiale sono state valutate anche attraverso l'esecuzione di una prova di pompaggio, condotta su pozzo - piezometro all'interno dell'area deposito olio combustibile settore serbatoi da 20.000 m³. I valori medi dei parametri caratteristici dell'acquifero dedotti dall'interpretazione della prova di emungimento a portata costante, sono i seguenti:
 1. $T = 1.71 \text{ E -}02 \text{ m}^2/\text{s}$
 2. $K = 5.69 \text{ E -}04 \text{ m/s}$
- il valore medio di conducibilità idraulica ricavato dagli Slug Tests è risultato pari a $K_{media} = 1.0311 \text{ E -}04 \text{ m/s}$;
- dall'analisi dei dati ottenuti dalle prove di conducibilità idraulica. con permeametro di Guelph, per ogni intervallo di profondità indagato è:
 - da 0.00 a 0.15 metri → $K_{fs_{media}} = 2.06\text{E-}04 \text{ m/s}$
 - da 0.15 a 0.30 metri → $K_{fs_{media}} = 2.43\text{E-}04 \text{ m/s}$

Tutti i valori di conducibilità idraulica ottenuti attraverso le diverse prove attribuiscono ai terreni superficiali dell'area oggetto di studio una permeabilità alta, caratteristica di terreni ghiaioso sabbiosi.

I valori di soggiacenza misurati variano tra 0.60 metri e 5.70 metri rispetto alla quota assunta come riferimento (rif. testa piezometro); la direzione di deflusso sotterraneo

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 31 di 97 | |

della falda idrica superficiale, ortogonale alle linee isopieze, a scala locale risulta una direzione di deflusso sotterraneo medio all'incirca Nord Est – Sud Ovest, con un valore del gradiente idraulico medio pari a 0.0054.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 32 di 97 | |

3. CARATTERIZZAZIONE DEI PUNTI SENSIBILI AI FINI DEL RISCHIO ASSOCIATO

I capitoli seguenti si prefiggono l'obiettivo di fornire una analisi identificativa in merito alle vie di migrazione di contaminanti nei vari comparti ambientali esistenti all'interno delle seguenti aree:

- Bacino di contenimento serbatoi stoccaggio olio combustibile denso "OCD" da 100.000 m³
- Bacino di contenimento serbatoi stoccaggio olio combustibile denso "OCD" da 20.000 m³

Presso la Centrale Termoelettrica EDIPOWER S.p.A. di Turbigo (MI).

Tale attività operativa fa parte integrante di uno studio richiesto a FENICE S.p.A. dal Committente finalizzato alla elaborazione dell'Analisi di Rischio sito-specifica per le aree precedentemente indicate. Il riconoscimento del modello concettuale è uno dei passi fondamentali da compiere per l'esecuzione dell'Analisi del Rischio e la sua definizione comprende la ricostruzione dei caratteri delle tre componenti principali:

- Sorgenti di contaminazione (prodotti inquinanti)
- Percorso di migrazione
- Bersagli della potenziale contaminazione

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 33 di 97 | |

Le attività di identificazione delle vie di migrazione sono state integrate da una analisi di compatibilità delle misure preventive adottate dalla Centrale per limitare al minimo il rischio derivante da una eventuale fuoriuscita di OCD dai serbatoi di stoccaggio.

Tutte le attività sono state sviluppate e coordinate in campo da FENICE S.p.A., secondo la pianificazione concordata con i responsabili di Stabilimento preposti al controllo dei lavori.

I risultati delle operazioni e le modalità operative con cui tale attività è stata eseguita in sito vengono illustrati nei successivi capitoli della presente relazione tecnica.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 34 di 97 | |

3.1 Normativa e documentazione procedurale interna di riferimento

- D.M. 31 luglio 1934 e successive modifiche/integrazioni *“Approvazione delle norme di sicurezza per la lavorazione, l’immagazzinamento, l’impiego o la vendita di olii minerali, e per il trasporto degli stessi”*
- Edipower Centrale di Turbigo, Prescrizione di esercizio 0-00-PG-03 *“Prove ed operazioni periodiche Servizi Comuni”*
- Edipower Centrale di Turbigo, Prescrizione di esercizio 0-00-PG-52 *“Prescrizioni generali di esercizio del Parco Combustibili”*
- Edipower Centrale di Turbigo, Istruzione Operativa SGA-IO-08 *“Movimentazione dei combustibili”*
- Edipower Centrale di Turbigo, Piano di Emergenza Interno

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 35 di 97 | |

3.2 Descrizione delle aree antropiche oggetto di indagine

L'attività produttiva svolta all'interna del sito EDIPOWER S.p.A. è la produzione di energia elettrica attraverso la combustione di olio combustibile denso "OCD", proveniente da fonti di approvvigionamento nazionali e immagazzinati temporaneamente in unità di stoccaggio fuori terra della seguente tipologia:

- Unità di contenimento a n°4 serbatoi di capacità pari a 20.000 m³/cad
- Unità di contenimento a n°3 serbatoi di capacità pari a 100.000 m³/cad

Nella planimetria di *Allegato 1* sono evidenziate le aree di interesse e le loro ubicazioni relative all'interno dell'insediamento produttivo.

L'olio combustibile denso viene approvvigionato sia tramite oleodotto sia tramite autobotti. L'oleodotto, costituito da una tubazione avente DN 6" si sviluppa per una lunghezza di 12,3 km ed eroga una portata di 200 m³ di OCD proveniente dalla Raffineria SARPOM di Trecate (NO). Le autobotti scaricano l'OCD per gravità entro una vasca interrata da 1.000 m³ dalla quale aspira un gruppo di n°4 pompe per la definitiva movimentazione verso i serbatoi di stoccaggio da 20.000 e 100.000 m³.

3.2.1 – Area serbatoi da 20.000 m³

I serbatoi della capacità di 20.000 m³ (*Figura 10*) hanno forma cilindrica ad asse verticale e fondo piatto e sono tutti fuori terra. Sono muniti di tracciamenti a vapore (riscaldatori a banana "Casenghini") per mantenere la nafta fluida durante le fasi di movimentazione: carico, scarico e trasferimento.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 36 di 97 | |
| | | | | |

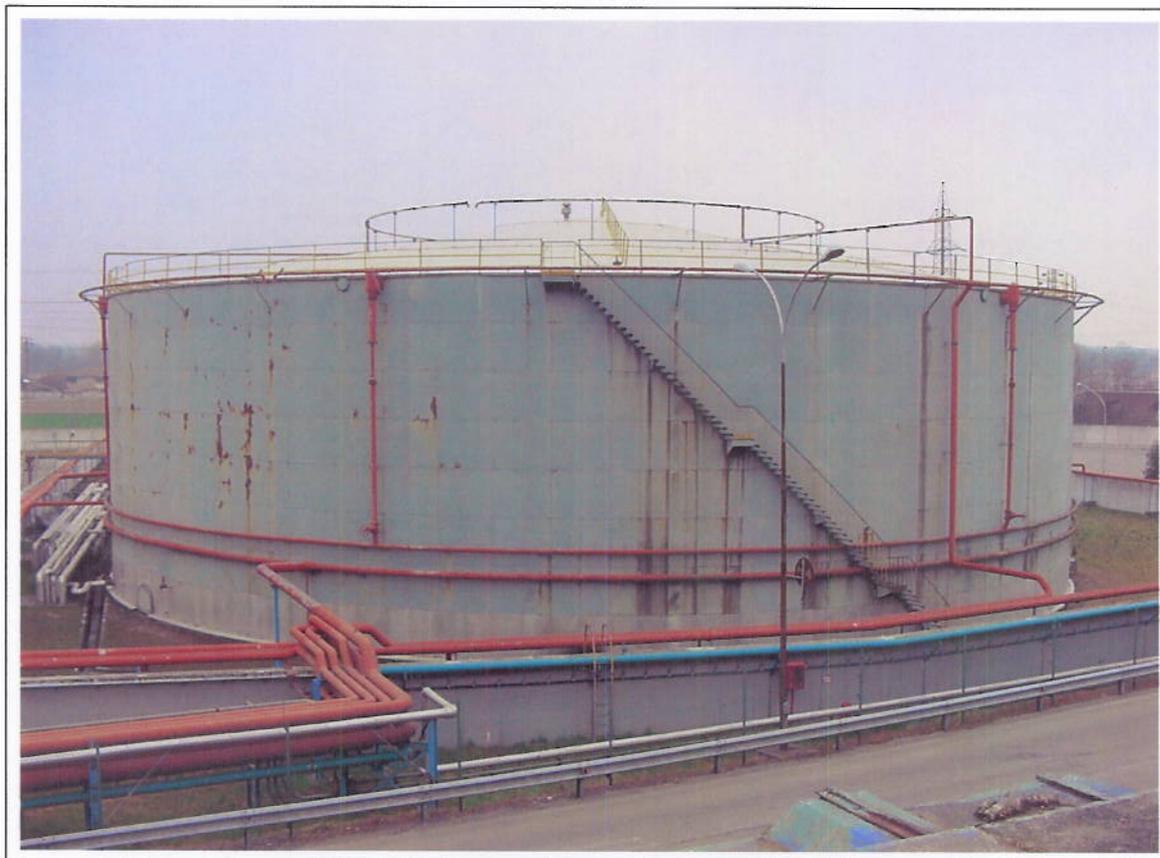


Figura 10 – Area serbatoi da 20.000 m³

Poggiano direttamente su una piattaforma di fondazione circolare in calcestruzzo delimitata perimetralmente da una trincea a sezione trapezia in calcestruzzo (*Figura 11*). Tale trincea è direttamente collegata ad una rete di canalizzazioni anch'esse di sezione trapezia e realizzate in calcestruzzo tese a veicolare eventuali perdite di OCD da punti di fuoriuscita ritenuti particolarmente sensibili (rubinetti di prelievo ai fini del successivo campionamento, scarico di condensa eventualmente presente) verso vasche di raccolta/trattamento fisico intermedi (trappole “italiana” e “olandese”).

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 37 di 97 | |
| | | | | |



Figura 11 – Particolare delle fondazioni dei serbatoi

I gruppi di stoccaggio da 20.000 m³ sono a due a due confinati dall'ambiente circostante attraverso un muro di divisione dimensionato in modo tale da poter ospitare nel bacino di contenimento almeno i volumi stoccati all'interno del serbatoio/i (condizione al contorno di tipo geometrico) e a contrastare le spinte idrostatiche relative al battente idraulico eventualmente formatosi (condizione al contorno di tipo strutturale).

Tutti i serbatoi alimentano i Gruppi di combustione della Centrale Termica attraverso una rete di tubazioni di invio adeguatamente coibentate. Il sistema di prelievo di OCD dai depositi di stoccaggio agisce secondo due differenti modalità tecnico-operative:

- Nel caso in cui il combustibile sia a bassa temperatura (cioè in fase di avvio impianto), tale da conferirgli una viscosità elevata e un trasporto in condotta difficoltoso, si provvede ad attivare il riscaldamento del fondo del deposito

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 38 di 97 | |

attraverso alcune serpentine che realizzano uno scambio termico tra il vapore caldo e l'OCD.

- Nel caso in cui il combustibile sia a bassa viscosità (cioè in condizioni di esercizio a regime) si provvede ad estrarre l'OCD direttamente senza preriscaldamento oppure con un riscaldamento localizzato nell'intorno del punto di estrazione attraverso l'interposizione di un riscaldatore a banana orizzontale "Casenghini".

Un sistema di spillamento ubicato parallelamente ad una generatrice di bassa quota di ogni serbatoio cilindrico rende possibile l'estrazione di eventuali modeste quantità di acqua depositata all'interno.

3.2.2 – Area serbatoi da 100.000 m³

I serbatoi della capacità di 100.000 m³ hanno forma cilindrica ad asse verticale e fondo piatto e sono tutti fuori terra (*Figura 12*).

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 39 di 97 | |



Figura 12 - Area serbatoi da 100.000 m³

Sono provvisti di tetto galleggiante e quindi possono variare il loro volume interno in funzione del livello di liquido stoccato (*Figura. 13*).

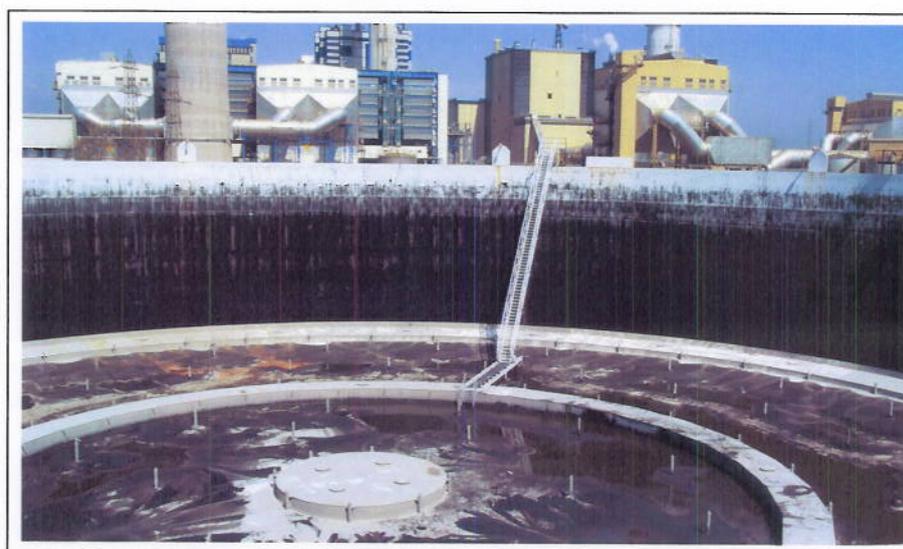


Figura 13 – Panoramica del tetto galleggiante

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 40 di 97 | |

Sono dotati degli stessi equipaggiamenti tecnologici ai fini della estrazione di OCD già previsti per i serbatoi da 20.000 m³.

L'acqua meteorica eventualmente depositata sul tetto, è collettata attraverso un sistema di drenaggio perimetrale (interno ed esterno) fino allo scarico finale detto "*pantografo*" in canaletta basale.

I bacini di stoccaggio da 100.000 m³ risiedono tutti all'interno dello stesso bacino di contenimento, ma sono muniti di strutture canalizzate in calcestruzzo per la canalizzazione di eventuali perdite di combustibile.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 41 di 97 | |

3.3 Metodica operativa

In base alla pianificazione delle attività di campo elaborate da FENICE S.p.A. con EDIPOWER S.p.A., la quale ha provveduto a fornire una mappatura aggiornata delle strutture interessate da monitoraggio, è stata programmata la sequenza operativa degli interventi che sono stati realizzati nel mese di Aprile 2005.

Nel seguito viene illustrata nelle sue linee generali la procedura operativa che è stata adottata per svolgere le operazioni propedeutiche alla definizione del modello concettuale del sito di specifico interesse, consistenti nel censimento delle potenziali vie di migrazione dei contaminanti e alla valutazione della congruenza delle procedure operative di intervento ordinario/straordinario vigenti all'interno della Centrale Termoelettrica per ridurre al minimo ogni eventuale rischio di potenziale sversamento di OCD dai serbatoi di stoccaggio.

La serie di attività per la individuazione delle vie di migrazione ritenute significative è stata articolata nelle seguenti fasi:

- a) Ricerca bibliografica specifica finalizzata a:
 - reperimento di tavole grafiche tematiche riportanti eventuali particolari costruttivi e impiantistici dei serbatoi.
 - reperimento di ogni procedura operativa interna di intervento manutentivo ordinario/straordinario.
- b) Censimento di tutti i punti sensibili rilevati sul campo e relativa documentazione fotografica.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 42 di 97 | |

- c) Valutazione analitica dei punti sensibili ritenuti significativi.
- d) Compilazione schede tecniche relative ai punti sensibili significativi.
- e) Verifica di congruità delle procedure operative di intervento manutentivo ordinario/straordinario.

Ricerca bibliografica

La fase di reperimento dati è stata articolata dai tecnici FENICE S.p.A. in n° 2 fasi:

- Reperimento di materiale documentale presente all'interno dell'Archivio storico EDIPOWER S.p.A. nella forma di tavole grafiche tematiche per i serbatoi oggetto di studio
- Reperimento di Procedure e Istruzioni di Lavoro redatte, approvate ed applicate ai fini del mantenimento di standard di sicurezza compatibili con la attuale normativa di merito.

Prima di dare corso alla campagna di monitoraggio sul campo, si è proceduto alla acquisizione delle planimetrie di Centrale riferite alle Aree produttive oggetto di studio. Sono stati condotti alcuni colloqui con personale tecnico di Centrale finalizzato a ricavare informazioni ritenute utili alla focalizzazione dei documenti utili allo studio di valutazione di rischio connessa all'esistenza dei serbatoi di stoccaggio installati.

Sono stati reperiti i seguenti elaborati grafici:

- Bacino di contenimento serbatoi nafta da 20.000 m³ - impermeabilizzazione*
- Serbatoio olio combustibile da 100.000 m³ - sezione*

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 43 di 97 | |

La Centrale Termoelettrica di Turbigo ha da tempo avviato un programma di gestione operativa della sicurezza integrata all'ambiente. Al fine di valutare tutti gli aspetti critici del sistema produttivo, è stato inizialmente eseguito un censimento delle attività elementari suddivise in ordinarie (condizioni di regime), straordinarie (avviamenti) e di emergenza dovute a cause interne (perdita di controllo, guasti impiantistici) ed esterne (eventi meteorologici anomali). Alla luce di tale impianto teorico di analisi, la Centrale Termoelettrica EDIPOWER S.p.A. di Turbigo ha sviluppato la compilazione di Procedure e Istruzioni di Lavoro necessarie a regolamentare sotto il profilo del controllo/gestione del rischio ogni singola azione elementare.

FENICE S.p.A. ha provveduto ad acquisire ogni documento relativo a:

- Conduzione degli impianti di stoccaggio OCD presso i serbatoi da 20.000 m³ e 100.000 m³ (ivi compresa la manutenzione ordinaria)
- Manutenzione straordinaria degli impianti di stoccaggio OCD
- Gestione della emergenza presso impianti di stoccaggio OCD

Sono stati considerati nel corso del seguente studio i seguenti documenti interni:

- Istruzione operativa SGA-IO-08 "Movimentazione dei combustibili"
- Prescrizione di esercizio 0-00-PG-03 "Prove ed operazioni periodiche Servizi Comuni"
- Prescrizione di esercizio 0-00-PG-52 "Prescrizioni generali di Esercizio del parco combustibili"

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 44 di 97 | |

Attività di campo: censimento dei punti sensibili

Le attività ricognitive di campo sono essenzialmente consistite nel rintracciamento in sito di eventuali punti sensibili riconosciuti come potenziali *vie di migrazione* ai fini dell'Analisi di rischio specifica del sistema di contenimento OCD.

L'insieme di tutte le informazioni tecniche raccolte nel corso dei sopralluoghi tecnici e degli incontri con il personale operativo specializzato è stato gestito e organizzato sinteticamente sottoforma di tavole monografiche all'interno delle quali sono stati riportati i seguenti contenuti:

1. Sezione descrittiva

- Denominazione del punto di indagine (attribuzione arbitraria ai fini della analisi specifica)
- Ubicazione e funzione impiantistica espletata
- Inquadramento planimetrico
- Documentazione fotografica
- Sistema di sicurezza impiantistica esistente e relativo stato di conservazione

2. Sezione analitica

- Rif. Procedure Sicurezza interne di richiamo diretto
- Tipologia causa di potenziale anomalia (impiantistica o operativa)

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 45 di 97 | |

Assegnazione dell'Indice di rischio

La raccolta completa delle tavole monografiche riferite ad ogni singolo punto sensibile viene riportata integralmente in *Allegato 7 e 8*.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 46 di 97 | |

3.4 Valutazione analitica del rischio

Ai fini della stima del rischio specifica dell'area oggetto di studio è stata adottato l'impianto teorico suggerito dal Manuale UNICHIM n° 185 "*Linee guida per la valutazione di terreni e falde contaminati – Aspetti normativi e analisi di rischio*" con gli opportuni affinamenti tecnici dettati dagli aspetti sito-specifici (sistema industriale) e implementati da tempo nelle procedure di gestione ambientale FIAT – Powertrain Italia S.r.l.. E' stato pertanto preliminarmente effettuato un riconoscimento qualitativo del modello concettuale del sito più attinente alla realtà attraverso la individuazione delle componenti fondamentali significative:

- Tipologia del fluido in transito (SORGENTE)
- Tipologia del punto sensibile (VIA DI MIGRAZIONE)

La presente relazione si limita alla individuazione delle vie di migrazione ritenute particolarmente sensibili attraverso la registrazione e organizzazione dei parametri tecnici necessari allo sviluppo di una analisi di rischio focalizzata sugli aspetti impiantistici e procedurali.

L'analisi di rischio è definita come un procedimento formalizzato mediante il quale, per i pericoli potenziali individuati, vengono analizzate: le modalità di accadimento, le probabilità di accadimento, le conseguenze. E' stata allo scopo introdotta una grandezza denominata **Indice di Rischio** (R_i) ottenuta dalla combinazione lineare di più parametri inter-correlati.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 47 di 97 | |

L'entità del rischio associato ad ogni singolo aspetto è frutto di una articolata valutazione, effettuata utilizzando criteri collegati alla magnitudo (intensità dell'evento dannoso) e all'indice di probabilità.

Tale valutazione consente di quantificare il rischio associato alle situazioni di gestione impianto in condizioni di regime e di emergenza e quindi di individuare le priorità di eventuale raffinamento dell'impianto procedurale adottato dalla Centrale Termoelettrica di Turbigo (MI).

Per ogni i-esimo punto ritenuto sensibile in fase di acquisizione di campagna è stata condotta la valutazione di rischio definita dalla seguente formula:

$$R_i = m_i \times a_i$$

dove: m = magnitudo

a = probabilità di accadimento

La magnitudo rappresenta, secondo una stima semi-quantitativa, l'entità delle conseguenze nel caso di un evento cosiddetto pericoloso ed è ottenuta applicando la seguente formula:

$$m = q + p$$

dove: q = quantità dell'agente contaminante

p = pericolosità dell'agente contaminante

Nel seguente prospetto viene descritta sinteticamente la matrice ponderale costruita appositamente per la valutazione della magnitudo relativa alla gestione del sistema di stoccaggio considerato:

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 48 di 97 | |
| | | | | |

| Quantità <i>q</i> | Descrizione | Peso |
|---|---|------|
| Nulla | Nessuno sversamento di OCD in situazioni di manutenzione ordinaria/straordinaria | 0 |
| Ridotta [0 ÷ 1 l] | Trascurabili stillicidi di OCD in situazioni di manutenzione ordinaria con personale tecnico presente | 1 |
| Media [1 l ÷ 100 l] | Sversamenti accidentali di OCD dovute ad errori di personale tecnico durante fasi operative | 2 |
| Elevata [100 l ÷ 1 m ³] | Sversamenti prolungati di OCD in occasione di eventi parossistici non prevedibili | 3 |
| Pericolosità <i>p</i> | Descrizione | Peso |
| nulla | Impatti provocati da sversamenti di acqua di condensa derivante dall'impianto di riscaldamento serbatoi di stoccaggio o da acqua residuale di fondo serbatoio | 0 |
| media | Impatti provocati da sversamenti di OCD contenuto nei serbatoi di stoccaggio | 1 |

La probabilità di accadimento a è ottenuta applicando la seguente formula:

$$a = f + c$$

dove: f = frequenza
 c = grado di controllo

La frequenza è intesa come il numero di volte nel periodo temporale base in cui l'impianto tecnologico riconosciuto come sensibile potrebbe essere interessato da perdite di agente considerato contaminante per le matrici ambientali coinvolte. Tale parametro, nel caso specifico, è direttamente proporzionale alla frequenza di impiego.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 49 di 97 | |

Il grado di controllo c di un singolo impianto tecnologico viene valutato in funzione delle azioni di controllo operativo, dei programmi di monitoraggio e manutenzione nelle quali è coinvolto lungo un arco temporale definito e costante tenendo conto della esistenza dei requisiti della *Tabella 7* seguente:

- Presenza di Istruzioni operative specifiche nelle quali è direttamente citato l'impianto valutato
- Esecuzione di simulazioni di eventi dannosi (es. sversamento)
- Presenza di personale preposto organizzato in squadre di intervento continuativo
- Esistenza di sistemi di segnalazione e allarme
- Frequenza periodica di controlli
- Presenza di dispositivi passivi di sicurezza (barriere, sistemi di captazione e raccolta, bacini di contenimento)

Tabella 7 – Check list ai fini della determinazione del grado di controllo

Nel seguente prospetto viene descritta sinteticamente la matrice ponderale costruita appositamente per la valutazione della probabilità di accadimento relativa alla gestione del sistema di stoccaggio considerato:

| Frequenza <i>f</i> | Descrizione | Peso |
|--------------------------------|---|------|
| bassa | Eventi di sversamento potenziali in numero inferiore a 6/anno | 1 |
| media | Eventi di sversamento potenziali in numero superiore a 6/anno e inferiore a 10/anno | 2 |
| elevata | Eventi di sversamento potenziali in numero superiore a 10/anno | 3 |
| Grado di controllo <i>c</i> | Descrizione | Peso |
| basso | Se i requisiti sono superiori a 4 (rif. Tab 7) | 0 |
| medio | Se i requisiti sono compresi tra 2 e 4 (rif. Tab 7) | 1 |
| alto | Se i requisiti sono inferiori a 2 (rif. Tab 7) | 2 |

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 50 di 97 | |
| | | | | |

La formula generale dell'indice di rischio risulta pertanto essere esplicitata nel seguente modo:

$$R_i = (q + p) \times (f + c)$$

Attraverso l'assegnazione di un peso congruente (rappresentato da un numero naturale intero) ad ogni parametro coinvolto nell'algoritmo precedentemente esplicitato è possibile quantificare il rischio associato (R_i) alle situazioni di anomalia e quindi individuare le eventuali priorità di intervento (gestionali e operative). Sulla base di opportune correlazioni con precedenti studi di valutazione nell'ambito della valutazione del rischio industriale, e' stato fissato un valore soglia pari a $R_i = 10$ per discriminare tra aspetti a rischio e aspetti non a rischio. Tale valore di soglia consente di stabilire le priorità tra tutte le situazioni valutate, al fine di intervenire più efficacemente nella prevenzione delle stesse e quindi nei confronti dei potenziali impatti ambientali ad esse collegate. La matrice sottostante (*Figura 14*) identifica graficamente gli aspetti a rischio e non a rischio.

| R_i | | a | | | | | |
|-------|---|---|---|---|----|----|----|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | 2 | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| | 3 | 0 | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| | 4 | 0 | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 |

| | |
|--|-----------------------|
| | Aspetto a rischio |
| | Aspetto NON a rischio |

Figura 14 – Matrice di rischio associato

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 51 di 97 | |

3.5 Analisi dei risultati

Sulla base dei risultati ottenuti in fase di valutazione del rischio connesso, sono stati identificati alcuni punti aventi rischio più elevato. Tali punti descritti esaurientemente nelle schede monografiche riportate in *Allegato 7 e 8* sono ribaditi in *Tabella 8*.

| Item | Area di pertinenza | | Id. serbatoio | Funzione |
|-------|--|---|---------------|---|
| | Serbatoi stoccaggio da 20.000 m ³ | Serbatoi stoccaggio da 100.000 m ³ | | |
| PS1/1 | ■ | <input type="checkbox"/> | 1 | Uscita collettore di drenaggio acqua residuale di fondo serbatoio |
| PS1/3 | ■ | <input type="checkbox"/> | 1 | Uscita collettore di drenaggio acqua residuale di fondo serbatoio |
| PS2/1 | ■ | <input type="checkbox"/> | 2 | Uscita collettore di drenaggio acqua residuale di fondo serbatoio |
| PS3/2 | ■ | <input type="checkbox"/> | 3 | Uscita collettore di drenaggio acqua residuale di fondo serbatoio |
| PS3/4 | ■ | <input type="checkbox"/> | 3 | Uscita collettore di drenaggio acqua residuale di fondo serbatoio |
| PS4/1 | ■ | <input type="checkbox"/> | 4 | Uscita collettore di drenaggio acqua residuale di fondo serbatoio |
| PS4/2 | ■ | <input type="checkbox"/> | 4 | Punto di prelievo campioni di OCD per analisi chimico-fisiche |
| PS4/4 | ■ | <input type="checkbox"/> | 4 | Uscita collettore di drenaggio acqua residuale di fondo serbatoio |
| PS1/1 | <input type="checkbox"/> | ■ | 1 | Uscita collettore di drenaggio acqua residuale di fondo serbatoio |
| PS1/3 | <input type="checkbox"/> | ■ | 1 | Uscita collettore di drenaggio acqua residuale di fondo serbatoio |
| PS1/5 | <input type="checkbox"/> | ■ | 1 | Uscita collettore di drenaggio acqua residuale di fondo serbatoio |
| PS1/8 | <input type="checkbox"/> | ■ | 1 | Uscita collettore di drenaggio acqua residuale di fondo serbatoio |
| PS2/6 | <input type="checkbox"/> | ■ | 2 | Uscita collettore di drenaggio acqua residuale di fondo serbatoio |
| PS4/1 | <input type="checkbox"/> | ■ | 4 | Uscita collettore di drenaggio acqua residuale di fondo serbatoio |
| PS4/3 | <input type="checkbox"/> | ■ | 4 | Uscita collettore di drenaggio acqua residuale di fondo serbatoio |
| PS4/5 | <input type="checkbox"/> | ■ | 4 | Uscita collettore di drenaggio acqua residuale di fondo serbatoio |
| PS4/7 | <input type="checkbox"/> | ■ | 4 | Uscita collettore di drenaggio acqua residuale di fondo serbatoio |

Tabella 8 – Censimento schede monografiche

Dal valore dell'Indice di rischio R_i consultabile all'interno di ogni tavola monografica allegata, si deduce che i punti a maggior rischio sono dovuti prevalentemente a:

- Presenza di collettori di drenaggio dell'acqua residuale depositata al fondo del serbatoio di stoccaggio ($R_i = 6$)
- Presenza di rubinetti di prelievo OCD dai serbatoi di stoccaggio ai fini delle successive determinazioni chimico analitiche ($R_i = 9$)

La serie dei dati di rischio (R_i) relativa alle aree di stoccaggio da 20.000 m³ e 100.000 m³ è stata organizzata sinteticamente sottoforma di istogrammi di frequenza nei quali è visibile per ogni classe omogenea di indice di rischio la frequenza elementare di ricorrenza sulla intera popolazione di punti sensibili rilevati in campo.

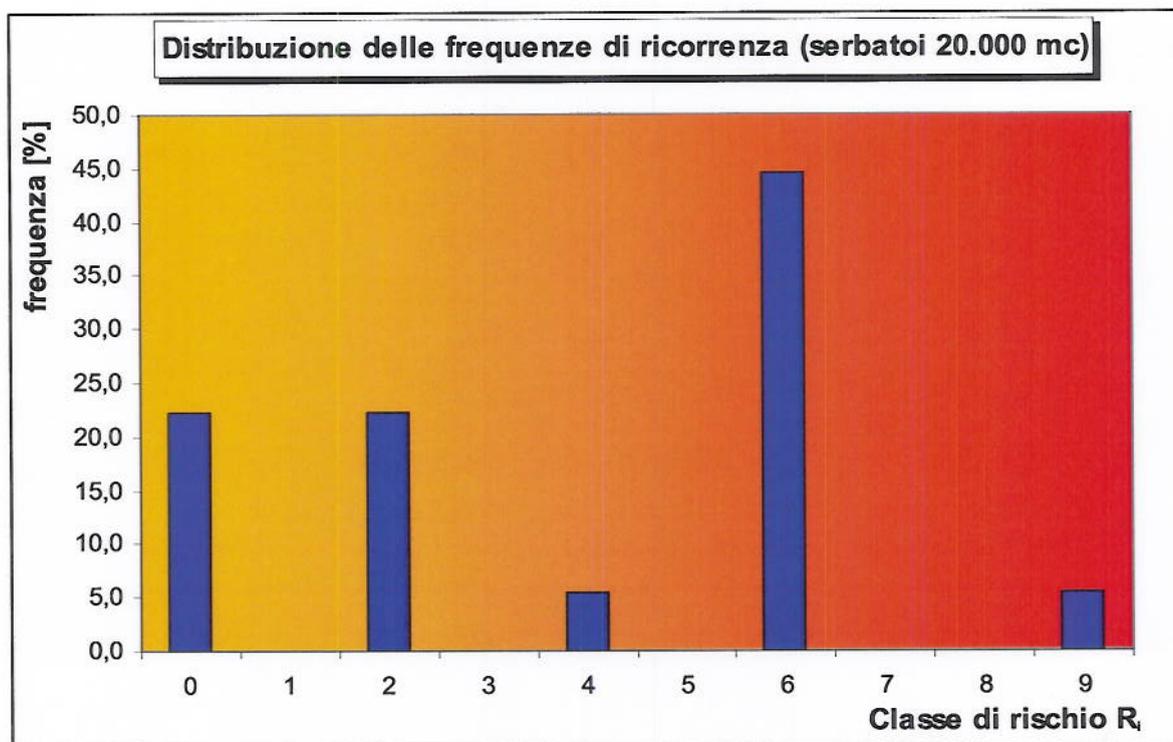


Figura 15 – Distribuzione delle frequenze delle classi di rischio (serbatoi 20.000 m³)

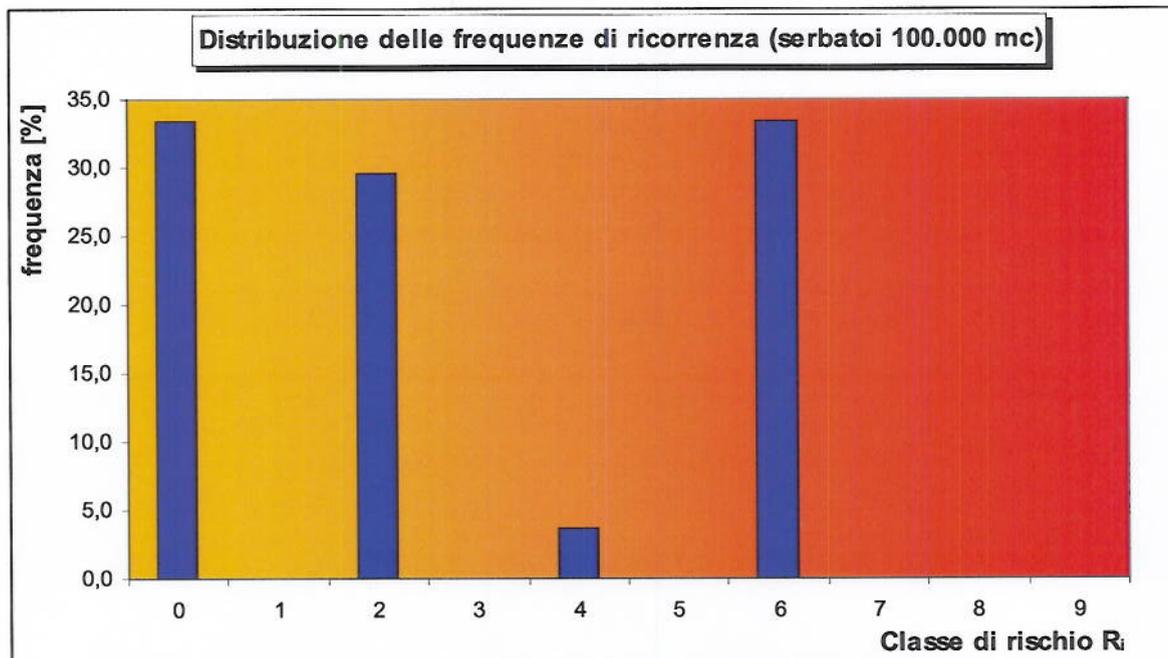


Figura 16 - Distribuzione delle frequenze delle classi di rischio (serbatoi 100.000 m³)

Tutti i punti indagati restano al di sotto del valore di rischio tollerabile prefissato nel corso dell'approccio analitico al problema.

Il rischio associato alle operazioni di prelievo campioni e spurgo dell'acqua contenuta all'interno dei serbatoi di stoccaggio riportato sulle tavole monografiche aumenta nei casi in cui:

- Le operazioni siano svolte da personale non adeguatamente informato
- Scarso livello di attenzione durante le operazioni
- Il prelievo/spurgo venga effettuato in concomitanza con eventi di pioggia intensi che impegnino la capacità di deflusso della rete di canalizzazione esistente all'interno dei bacini di contenimento

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 54 di 97 | |

3.6 Analisi di compatibilità dei sistemi di sicurezza

I sistemi di stoccaggio OCD presente all'interno della Centrale Termoelettrica EDIPOWER S.p.A. di Turbigo sono equipaggiati con i sistemi di sicurezza elencati nel seguente prospetto:

- Impianto di protezione antincendio
- Bacino di contenimento dimensionato sulle reali capacità di immagazzinamento di ogni unità di stoccaggio per eventi di perdita rilevanti
- Rete di canalizzazione e trattamento fisico (vasche-trappola) per il convogliamento di spurghi
- Valvole di chiusura/apertura implementate in serie sui punti di efflusso (erogazione /alimentazione)

Al fine di dare esaustività tecnica alla trattazione analitica in merito alla efficacia del sistema messo in atto dalla Centrale per ridurre al minimo ogni potenziale rischio associato al contatto e percolazione di OCD nel terreno, è stato eseguito il dimensionamento delle canalizzazioni e della valutazione della compatibilità delle portate sostenibili con i dati medi di piovosità locale.

L'obiettivo ultimo è quello di valutare se la canalizzazione è in grado di sostenere idraulicamente eventi anomali di precipitazione in concomitanza con operazioni controllate di spurgo dai serbatoi di stoccaggio, tali da creare potenziali tracimazioni di

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 55 di 97 | |
| | | | | |

OCD surnatante accidentalmente sversato nel terreno circostante al termine dello spurgo.

In fase di sopralluogo tecnico presso la Centrale Termoelettrica e con l'ausilio di alcuni elaborati grafici presenti nell'Archivio EDIPOWER S.p.A., è stato effettuato il rilievo dimensionale della rete di canalizzazione per ogni sistema di stoccaggio fisicamente isolato, ovvero compreso entro la medesima opera muraria di contenimento.

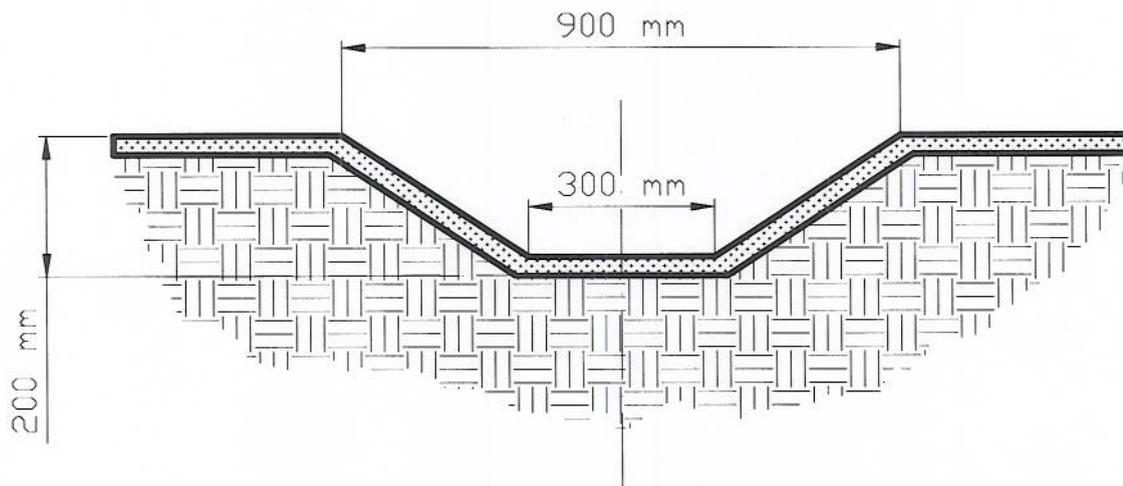


Figura 17 – Sezione trasversale del canale di deflusso

La sezione trasversale delle canalette di convogliamento risulta essere trapezia ma dimensionalmente variabile entro le sagome limite, facenti capo a due regimi di portata, massima e minima, rappresentate nel prospetto sottostante.

Per questioni di semplicità il dimensionamento delle portate massime smaltite viene effettuato considerando una sagoma media tra quelle rappresentate in figura.

Sezione trasversale - Portata MIN



Sezione trasversale - Portata MAX

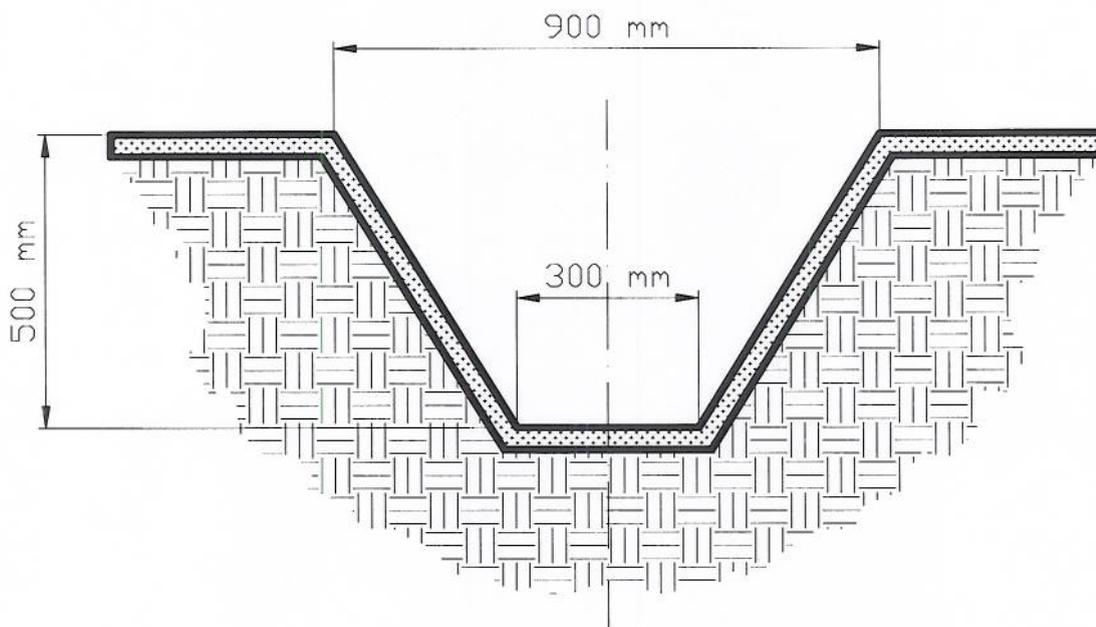


Figura 18 – Schema quotato della sezione trasversale della canaletta di deflusso

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 57 di 97 | |

Pertanto i parametri geometrici *medi* della canaletta sono:

| | | | | | |
|-----------|---|---------------|-------|-----|---------|
| Sezione | Trapezia | Base maggiore | B | [m] | 0,900 |
| | | Base minore | b | [m] | 0,300 |
| | | Altezza media | h_m | [m] | 0,350 |
| Pendenza | | | J | - | 5‰ - 1‰ |
| Lunghezza | Sviluppo metrico variabile all'interno di ogni bacino di contenimento | | | | |

Trattandosi di canali con corrente a pelo libero e ammettendo che il moto possa avvenire per semplicità in modo uniforme, la portata di efflusso può essere calcolata attraverso la *Formola di Chézy*:

$$Q = A \cdot \chi \cdot \sqrt{r_H \cdot J}$$

- dove:
- Q = portata [m³/s]
 - A = area della sezione trasversale del canale
 - χ = coefficiente di Chézy
 - r_H = raggio idraulico [m]
 - J = gradiente piezometrico coincidente con la pendenza di fondo canale

La determinazione del raggio idraulico si effettua attraverso il rapporto tra l'area della sezione (A) e il contorno di sezione bagnato dal flusso (c). Ponendosi nelle condizioni estreme, ovvero di regimi di portata massima sostenibile prima della tracimazione si ha che:

$$r_H = \frac{A}{c} = 0,172m$$

Il coefficiente di Chézy dipende dalla scabrezza ed è calcolabile con svariate formule sperimentali. Applicando la formula di Kutter, si ha:

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 58 di 97 | |

$$\chi = \frac{100 \cdot \sqrt{r_H}}{\sqrt{r_H} + m}$$

La determinazione del coefficiente di scabrezza m si effettua consultando i valori tabellati in bibliografia relativi a canalizzazioni in calcestruzzo ($m = 0,35$)

Assumendo una pendenza del fondo variabile, ma ascrivibile all'interno dell'intervallo 5‰ ÷ 1‰ si ricava un intervallo di portata pari a:

| Pendenza J | Portata Q [m ³ /h] |
|---------------|----------------------------------|
| 5‰ | 380 |
| 1‰ | 540 |

Avendo considerato la portata potenzialmente smaltibile dal sistema di drenaggio, ne è stata verificata la compatibilità con le diverse utenze di alimentazione, ponendosi nel caso limite che scarichino nello stesso momento:

- Evento piovoso
- Evento di drenaggio acqua residuale di fondo serbatoio

Per il primo caso, sono stati consultati i dati pluviometrici del Centro Meteorologico Lombardo. In particolare, al fine di considerare una situazione climatica tra le più sfavorevoli, si è presa in considerazione la media dei picchi massimi mensili di millimetri di pioggia in provincia di Milano. Tale valore corrisponde a circa 100 mm di pioggia/m² nell'arco di una giornata. La minima sezione (per ragioni di maggior cautela) di esposizione delle rete di drenaggio offerta all'evento meteorico è pari a 85,5 m², e si registra relativamente ad ogni serbatoio da 20.000 m³ di stoccaggio.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 59 di 97 | |
| | | | | |

Nel seguente prospetto sono sinteticamente riportati i parametri geometrici-idraulici utili per il dimensionamento della portata massima di pioggia.

| Dato pluviometrico [mm/m ² x 24h] | Estensione canalizzazione minima [m] | Area esposizione [m ²] | Portata oraria [m ³ /h] |
|---|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 100 | 95 | 85,5 | 0,35 |

Per l'utenza di drenaggio acque residuali di fondo serbatoio sono state effettuate le seguenti assunzioni ai finio di un dimensionamento il più possibile cautelativo:

- Tutti i rubinetti di efflusso afferenti allo stesso serbatoio simultaneamente aperti;
- Carico idraulico dovuto ad un battente di altezza (massima disponibile di stoccaggio per serbatoio da 20.000) pari a 13 m di acqua. Si tenga presente che tale ipotesi è conservativa in quanto l'acqua presente all'interno del serbatoio può raggiungere al massimo il 20% in peso secondo i dati di approvvigionamento di Centrale

Nel seguente prospetto sono sinteticamente riportati i parametri geometrici-idraulici utili per il dimensionamento della portata massima di drenaggio acque residuali in serbatoio, applicando la formula relativa all'efflusso libero da luce in parete sottile:

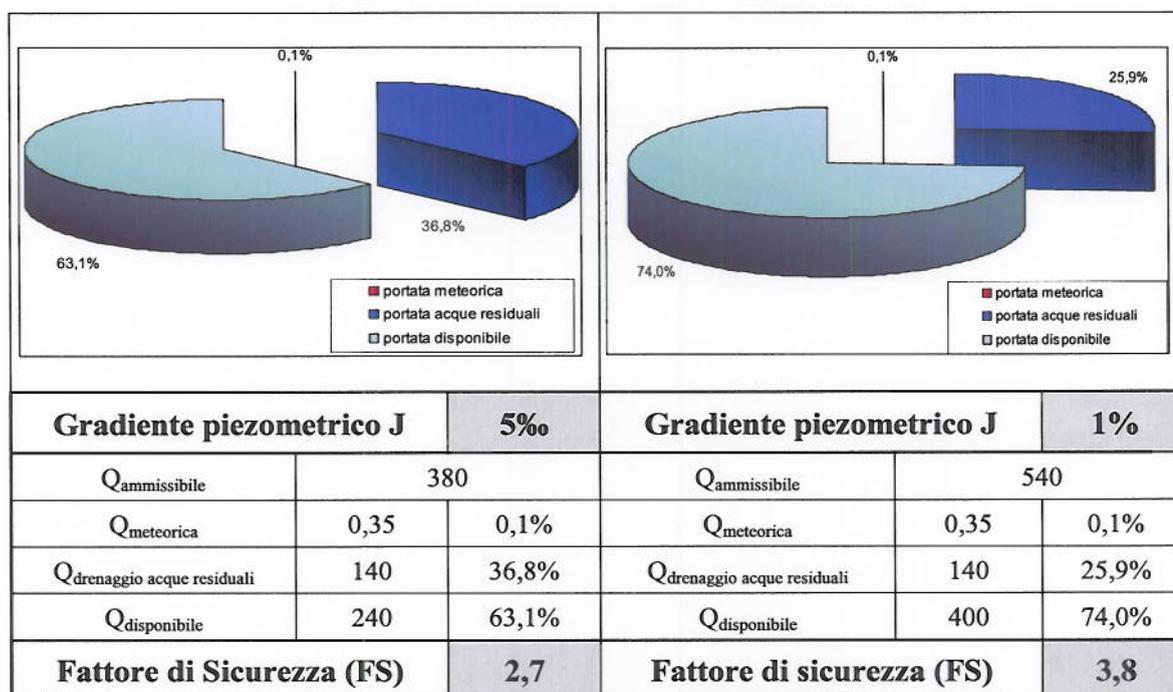
$$Q = C_c \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot h}$$

- dove:
- Q = portata [m³/s]
 - A = area della sezione trasversale della luce di efflusso [m²]
 - g = accelerazione di gravità [9,81 m/s²]
 - h = carico idraulico gravante sulla luce di efflusso [m]
 - C_c = coefficiente di contrazione

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 60 di 97 | |

| Diametro max rubinetto [mm] | N° rubinetti aperti | Carico [m] | C _c | Portata oraria [m ³ /h] |
|-----------------------------|---------------------|------------|----------------|------------------------------------|
| DN50 | 2 | 13 | 0,61 | 140 |

Il prospetto di sintesi seguente illustra il regime di lavoro del sistema di canalizzazione nelle due casistiche di gradiente idraulico massimo e minimo, ferme restando le assunzioni di carattere conservativo fatte nel corso del precedente dimensionamento.



Dalla determinazione del coefficiente di sicurezza FS basata sul rapporto tra portata ammissibile e portata smaltita si ritiene che il sistema di convogliamento risulta idoneo ai fini della evacuazione delle portate di acque meteoriche e residuali contemporaneamente flussate.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 61 di 97 | |

3.7 Analisi di compatibilità delle procedure interne

Sono stati considerati nel corso del seguente studio i seguenti documenti interni:

- Istruzione operativa SGA-IO-01 “Laboratorio chimico: procedure tecniche di analisi”
- Istruzione operativa SGA-IO-08 “Movimentazione dei combustibili”
- Istruzione operativa SGA-IO-15 “Protezione delle acque sotterranee dall’inquinamento”
- Prescrizione di esercizio 0-00-PG-03 “Prove ed operazioni periodiche Servizi Comuni”
- Prescrizione di esercizio 0-00-PG-52 “Prescrizioni generali di Esercizio del parco combustibili”

Le operazioni in cui sono coinvolti i siti di specifico interesse sono richiamati nella tabella seguente associando ad ogni attività la relativa periodicità (*in grigio sono evidenziate le fasi ritenute degne di particolare attenzione*):

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 62 di 97 | |

| Attività | Rif. PG/IO | Periodicità |
|---|------------|-------------------|
| Controllo presenza acqua nei serbatoi stoccaggio OCD | 0-00-PG-03 | 1 volta/mese |
| Scarico acqua contenuta nei serbatoi stoccaggio OCD | 0-00-PG-52 | secondo esigenze |
| Drenaggio acqua da canaline parzialmente invase ed accertamento di efficienza delle stazioni di pompaggio da vasche trappola | 0-00-PG-52 | secondo esigenze |
| Controllo presenza sostanze oleose nelle seguenti strutture di contenimento/veicolazione in regime di routine: <input type="checkbox"/> Cunicoli e trappole interne recinti serbatoi 100 000 m ³ <input type="checkbox"/> Cunicoli e trappole interne recinti serbatoi 20 000 m ³ | 0-00-PG-03 | 1 volta/settimana |
| Prova allarmi di fuga/alto livello installati presso: <input type="checkbox"/> Recinto contenimento serbatoio n°1 da 20 000 m ³ <input type="checkbox"/> Recinto contenimento serbatoio n°3 da 20 000 m ³ | 0-00-PG-03 | 1 volta/settimana |
| Prelievo di OCD ai fini di determinazioni chimico-analitiche | SGA-IO-01 | secondo esigenze |

Tabella 9 – Periodicità interventi di controllo

Nel caso della prescrizione di esercizio del parco combustibili 0-00-PG-52, sono evidenziate nel dettaglio le azioni da intraprendere per la gestione dei bacini di contenimento e delle strutture di stoccaggio.

A tal proposito è indicato che l'attività di drenaggio dell'acqua dei serbatoi, dovrà avvenire con bassa portata e con controllo a vista dell'effluente; ad attività conclusa le valvole dovranno essere richiuse e bloccate con lucchetto. Pertanto l'attività avrà luogo continuativamente nel tempo sotto la sorveglianza dell'addetto di servizio. Le quantità di OCD eventualmente fluito in canaletta sarà trascurabile in assenza di errori operativi.

Si ritiene compatibile l'impianto procedurale di sicurezza con gli standard di sicurezza richiesta ai fini della minimizzazione del rischio dovuto ad accidentale sversamento di OCD nel terreno.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 63 di 97 | |

3.7.1 – Ipotesi di miglioramento

Al fine di ottimizzare il comparto procedurale di richiamo per i sistemi di Sicurezza attualmente applicati per la minimizzazione del rischio dovuto ad accidentali sversamenti di OCD nel terreno, proveniente dai depositi di stoccaggio da 20.000 m³ e da 100.000 m³ si consiglia di integrare il controllo delle operazioni di spurgo con il controllo saltuario dei sistemi anti-manomissione.

Tali sistemi risultano essere costituiti da catene adeguatamente lucchettate che vincolano la manovra manuale dei volantini di apertura delle valvole di spurgo e di prelievo campioni.

L'ipotesi di miglioramento consisterebbe nel redigere/integrare il documento interno operativo che espliciti nei contenuti:

- Custodia delle chiavi dei lucchetti
- Reperibilità del possessore delle chiavi durante le diverse fasi lavorative

Ipotesi integrative di miglioramento consistono in:

- Elaborazione ed applicazione di un sistema di controllo delle stazioni di pompaggio delle acque contenute nelle canalette di raccolta;
- Esecuzione delle operazioni di drenaggio di acqua dai serbatoi di stoccaggio OCD in giorni in cui non ci siano eventi piovosi.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 64 di 97 | |

4. FASE SPERIMENTALE DI SIMULAZIONE

Al fine di valutare il potenziale rischio di contaminazione del suolo presente all'interno dei bacini di contenimento dei depositi di olio combustibile denso (OCD) presso la Centrale Edipower S.p.A. di Turbigo e della sottostante falda, è stata eseguita una sessione di prove sperimentali in n°2 impianti pilota su piccola scala. Le prove hanno mirato alla valutazione degli effetti della dispersione dell'inquinante all'interno del mezzo poroso a seguito di uno sversamento superficiale. Sono stati realizzati n°2 impianti pilota riempiti con un terreno granulometricamente analogo a quello presente in situ. Nel primo impianto è stata valutata la dispersione dell'inquinante nel mezzo completamente secco, nel secondo invece è stato valutato l'effetto della irrorazione del mezzo sulla percolazione dell'OCD (simulazione di un evento piovoso).

4.1 Fasi operative

4.1.1 – Ricostruzione granulometrica del suolo caricato negli impianti pilota

Per ricostruire nel modo più rappresentativo possibile il terreno presente nei bacini di contenimento dei serbatoi, ci si è avvalsi della seguente documentazione tecnica riportata in allegato:

- stratigrafie di n°2 sondaggi effettuati in prossimità dei bacini (*Allegato 2*);
- analisi granulometriche dei terreni provenienti dai sondaggi (*Allegato 3*);
- analisi granulometriche relative ai terreni superficiali prelevati da più punti all'interno di ciascun bacino di contenimento (*Allegato 4*);

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 65 di 97 | |
| | | | | |

- determinazione della conducibilità idraulica dei terreni eseguita attraverso prove specifiche in situ (*Allegato 5 e 6*).

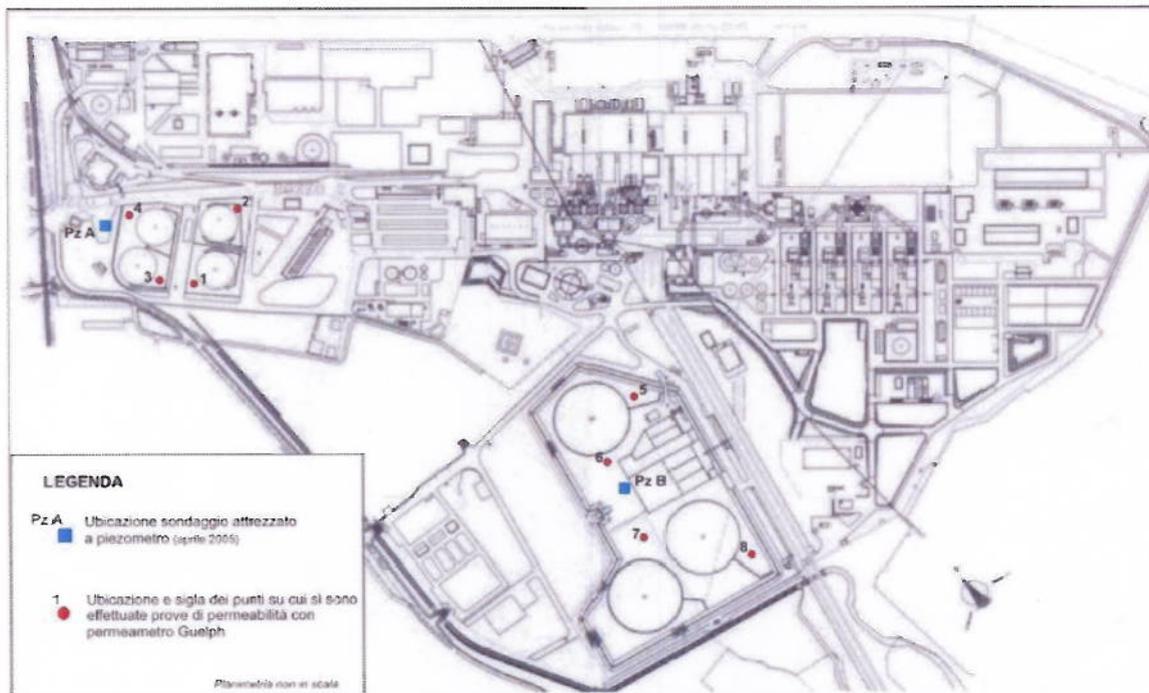


Figura 20 - Pianta della centrale con ubicazione dei sondaggi per caratterizzazione suolo

Dallo studio delle stratigrafie dei sondaggi e delle analisi granulometriche è stata osservata una buona omogeneità delle caratteristiche fisiche dei terreni in entrambi i bacini di contenimento. La ricostruzione della successione stratigrafica ha rivelato che, fino alla profondità di 10 metri, sono presenti terreni prevalentemente ghiaioso - sabbiosi con ciottoli e subordinati strati di sabbia grossolana. Le analisi granulometriche dei terreni superficiali hanno messo in evidenza, per tutti i campioni prelevati, una prevalenza di ghiaia sabbiosa con ciottoli (raramente debolmente limosa).

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 66 di 97 | |

Dai dati granulometrici dei terreni sono state determinate le quantità in peso dei singoli componenti. Noti tali valori è stato possibile ricostruire, in fase sperimentale, un terreno rappresentativo della situazione reale.

Noto che il volume dell'impianto pilota per la prova sperimentale "a secco" è di circa 0,70 m³, mentre quello "ad umido" è di circa 1,3 m³ è ovviamente stato determinato il volume complessivo di terreno necessario al riempimento degli impianti.

Al fine di effettuare l'esperimento nelle condizioni più conservative possibili, tra le granulometrie rilevate sul campo per la realizzazione del terreno sintetico, è stata scelta quella che presenta la maggior percentuale di materiale grossolano. In questo modo è stata considerata la peggiore condizione possibile che si realizzerebbe in realtà a seguito di uno sversamento dell'OCD e quindi del rischio legato alla diffusione dello stesso.

Il terreno utilizzato per la fase sperimentale è stato ricostruito utilizzando una miscela costituita da circa un 80% in peso di ghiaia e un 20% in peso di sabbia medio-fine. La ghiaia è costituita dalle seguenti proporzioni tra le varie classi granulometriche:

- 50% in peso di ciottoli (dai 40 ai 70 mm),
- 20% in peso di ciottoletti (dai 15 ai 30 mm),
- 10 % di granuli (da 2 a 8 mm)

In aggiunta, considerando che la parte superficiale dei terreni dei bacini di contenimento è caratterizzata dalla presenza di vegetazione, si è reso opportuno miscelare lo strato più superficiale presente in entrambi gli impianti con una piccola percentuale di suolo agricolo. In *Allegato 11* è riportata la documentazione relativa alle caratteristiche tecnico-merceologiche della ghiaia e della sabbia impiegati per la ricostruzione dei terreni.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 67 di 97 | |

4.1.2 – Modalità di sversamento

Per quanto riguarda la scelta delle condizioni di sversamento dell'OCD sul terreno caricato nei n°2 impianti pilota, è stata eseguita una attenta valutazione dei possibili scenari di rischio potenziale all'interno dei bacini di contenimento. Sulla base di tali considerazioni è stato ipotizzato che l'evento ritenuto sensibile deriva da uno sversamento puntuale di OCD da impianto "Casenghini". Tale sistema, posizionato alla base dei serbatoi, permette il riscaldamento dell'OCD ad una temperatura compresa tra i 40 e i 60 °C. Il possibile sversamento di OCD da tale dispositivo è rappresentabile mediante modesti trafiletti da raccordi tra le tubazioni e gli organi di regolazione del flusso verso il terreno. Sono stati ipotizzati dei trafiletti quantificabili con portate di un paio di gocce di OCD ogni 10 secondi circa. Considerando che i turni di controllo degli operatori sono di otto ore ciascuno e ipotizzando che il primo operatore effettui il controllo all'inizio del turno mentre il secondo alla fine, il tempo necessario per rilevare e intercettare la perdita dall'impianto è stato valutato pari a circa 16 ore (valore massimo). Durante questo periodo corrisponde, in termini di sversamento, una quantità di circa 16 litri di OCD. In base a tali considerazioni si è pensato di effettuare uno sversamento di 16 litri di OCD in un tempo ridotto, circa n°3 ore, in modo da rendere ancora più drastico l'effetto dello spandimento sul terreno e quindi operare in modo ulteriormente conservativo rispetto all'evento reale. Durante la fase sperimentale vera e propria si è reso necessario ridimensionare la quantità di OCD da sversare sul terreno ricostruito in quanto si è rilevato che l'OCD difficilmente percolava all'interno del mezzo poroso.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 68 di 97 | |

Prima di procedere allo sversamento in entrambi gli impianti pilota, l'OCD è stato preventivamente riscaldato fino alla temperatura di 60 °C (temperatura di utilizzo dell'OCD in centrale).

La scheda tecnica con le caratteristiche fisiche dell'olio combustibile denso utilizzato per le prove di sversamento è stata fornita direttamente dal personale EDIPOWER S.p.A.. Si tratta di un certificato di analisi della TAMOIL Raffinazione S.p.A. su olio combustibile denso BTZ (*Allegato 9*)

4.1.3 – Descrizione degli impianti pilota

L'esperimento è stato eseguito nei due impianti rappresentati in *Figura 21* e *Figura 22*.

Il primo, di sezione basale pari a 1,30 m x 0,50 m ed altezza pari a 1,20 m è stato utilizzato per la prova "a secco". Il secondo, di sezione basale pari a 1,00 m x 0,50 m ed altezza pari a 2,60 m, è stato equipaggiato alla sommità con un sistema che permette l'irrorazione di acqua al fine di osservare gli effetti dello sversamento in condizioni umide.

Durante l'esperimento, in entrambi gli impianti, è stata costantemente tenuta sotto controllo la temperatura attraverso l'utilizzo di sonde opportune.



Figura 21 – Impianto a secco



Figura 22 – Impianto ad umido

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 70 di 97 | |

4.2 Eventi di simulazione

4.2.1 – Sversamento di OCD in condizioni climatiche di tipo secco

Prima di eseguire lo sversamento, sul terreno è stata posizionata una vaschetta rettangolare (60 cm x 13 cm) con pareti in plexiglas e priva di fondo al fine di contenere l'OCD versato ed evitare la dispersione dello stesso su tutta la superficie dell'impianto amplificando nel contempo la componente verticale del vettore cinematico di percolazione (Figure 23 e 24).



Figura 23 - Vaschetta di contenimento per prove di sversamento OCD su terreno ricostruito in condizioni climatiche secche.

Le condizioni sperimentali registrate all'inizio dello sversamento sono nel seguito indicate:

- temperatura ambiente: 28,5 °C
- temperatura superficiale del terreno: 28,5 °C

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 71 di 97 | |

temperatura OCD: 60 °C (temperatura massima di esercizio/stoccaggio dell'OCD)

Lo sversamento è stato effettuato all'interno della vaschetta come riportato in figura seguente.



Figura 24 - Fase iniziale dello sversamento all'interno della vaschetta di contenimento.

I primi 2 litri di OCD sono stati versati nell'arco di tempo di circa 30 minuti e si è subito osservata la formazione di uno strato di OCD di circa un centimetro che ha ricoperto tutta la superficie all'interno della vaschetta (*Figura 25*).



Figura 25 - Formazione dello strato di battente di OCD all'interno della vaschetta di contenimento

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 72 di 97 | |

In seguito al secondo sversamento lo spessore di tale battente all'interno del perimetro di confinamento ha raggiunto lo spessore di circa 4 cm e si è mantenuto costante per tutta la durata dell'esperimento non consentendo lo sversamento di altro prodotto all'interno del perimetro confinato. Questo significa che il mezzo poroso ha registrato una capacità di drenaggio inferiore al flusso di alimentazione operativo di OCD. L'OCD, in seguito al progressivo raffreddamento, ha formato uno strato immobile con uno spessore di circa 1 cm in meno rispetto al battente iniziale. Sono stati complessivamente versati 4 litri di OCD entro il perimetro di confinamento.

In una fase successiva dell'esperimento sono stati sversati altri 4 litri di OCD in circa 1 ora in condizioni non confinate cioè all'esterno della vaschetta di contenimento (*Figura 26*).

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 73 di 97 | |

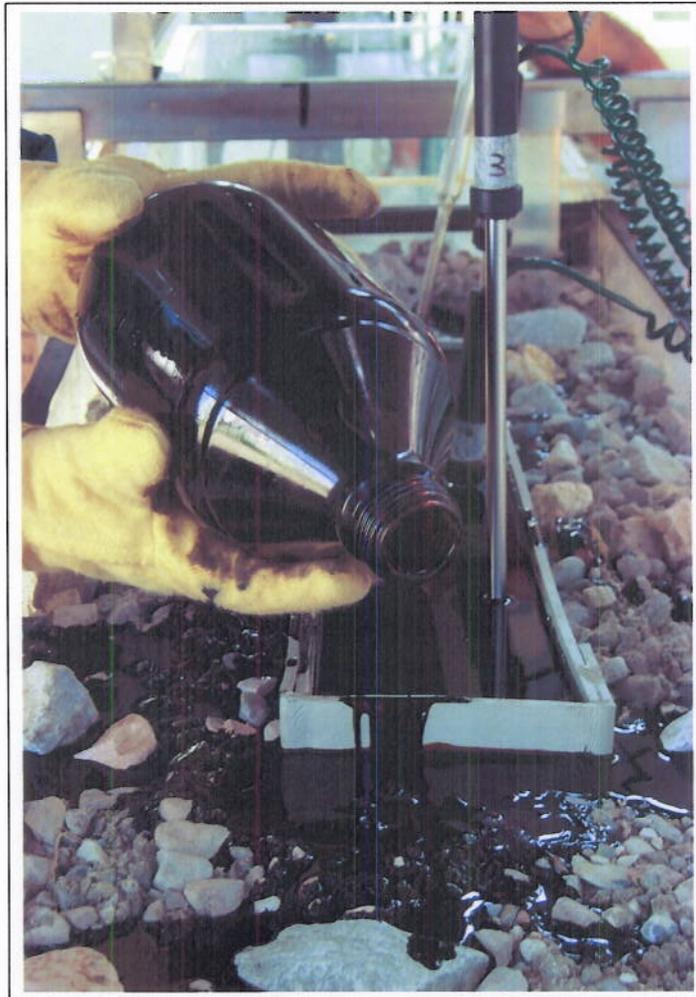


Figura 26 - Versamento di OCD all'esterno della vaschetta di contenimento

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 74 di 97 | |
| | | | | |

In tal modo si è potuto osservare che l'OCD tendeva soprattutto ad avere una componente di moto prevalentemente orizzontale mentre il movimento lungo la verticale era fortemente inibito dall'elevata viscosità e dal repentino raffreddamento dello stesso al contatto con il suolo.

A tal proposito la consultazione dei dati bibliografici di Stabilimento relativi alla analisi fisico-meccanica effettuata su campioni di OCD estratti dai periodici approvvigionamenti e finalizzati alla caratterizzazione reologica degli stessi ha permesso di ricavare l'equazione che lega la temperatura alla viscosità (*Legge di Arrhenius*) del tipo:

$$\eta = Ae^{-\frac{E}{RT}}$$

- dove:
- η è la viscosità [mPa·s]
 - A è la costante caratteristica del fluido in esame
 - E è l'energia di attivazione del flusso [J/mol]
 - R è la costante dei gas [J/mol·K]
 - T è la temperatura assoluta [K]

| T [K] | η [mPa·s] | Metodica analitica |
|-------|----------------|--------------------|
| 323 | 111,32 | ASTM D 445 |
| 373 | 16,33 | ASTM D 445 |

La tabellazione dei dati e la successiva operazione di fitting ha permesso di valutare che la costante caratteristica del fluido A è pari a 1.948 mPa·s.

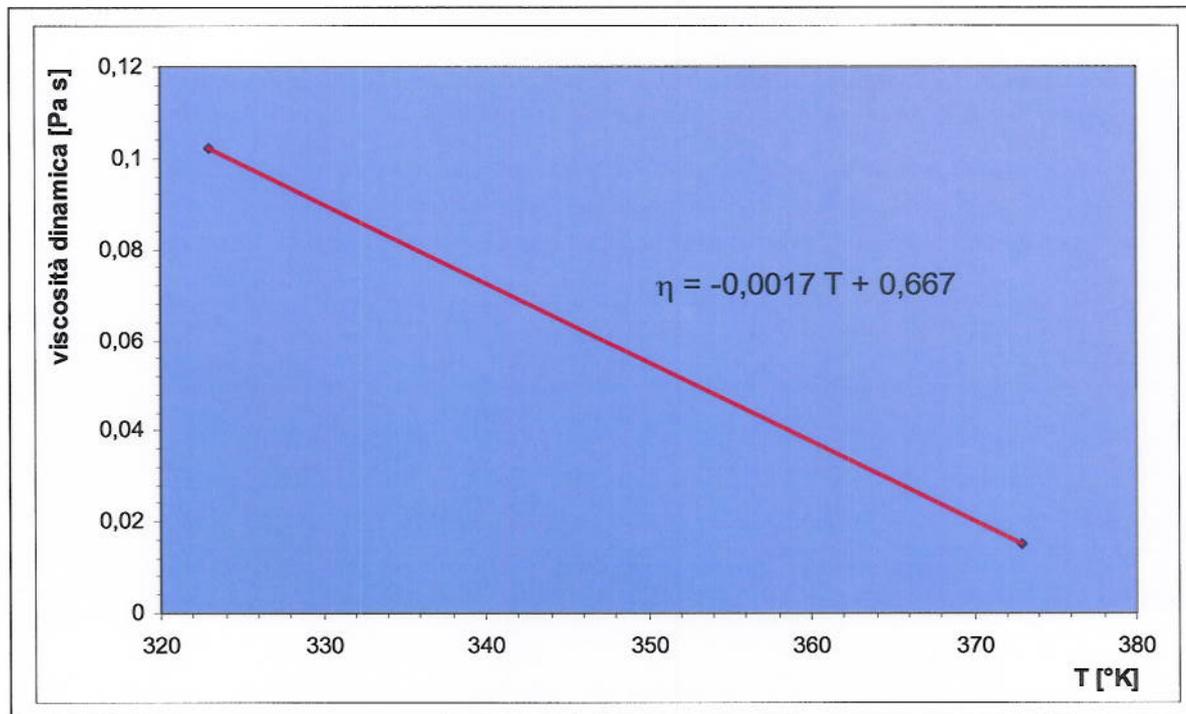


Figura 27 – Variazione della viscosità in funzione della temperatura dell'OCD

L'elevata viscosità dell'OCD (elevata costante caratteristica A corrisponde ad elevata viscosità già a partire da basse temperature) unitamente al raffreddamento pressochè istantaneo conseguente al contatto con il suolo crea le condizioni per la formazione di una pellicola e successivamente di uno strato che non permette la percolazione al di sotto dei primi 2 cm di profondità.

Il monitoraggio della temperatura all'interfaccia superficie terreno/OCD ha permesso di osservare una notevole diminuzione della temperatura dell'OCD nel momento in cui lo stesso è venuto a contatto con il suolo. Alle condizioni sperimentali di cui sopra, infatti, è stata registrato uno shock termico dell'OCD da 60 a 46°C. In *Figura 28* viene mostrato il profilo di variazione di temperatura dell'OCD in funzione del tempo fino al raggiungimento della temperatura iniziale sulla superficie del terreno.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 76 di 97 | |
| | | | | |

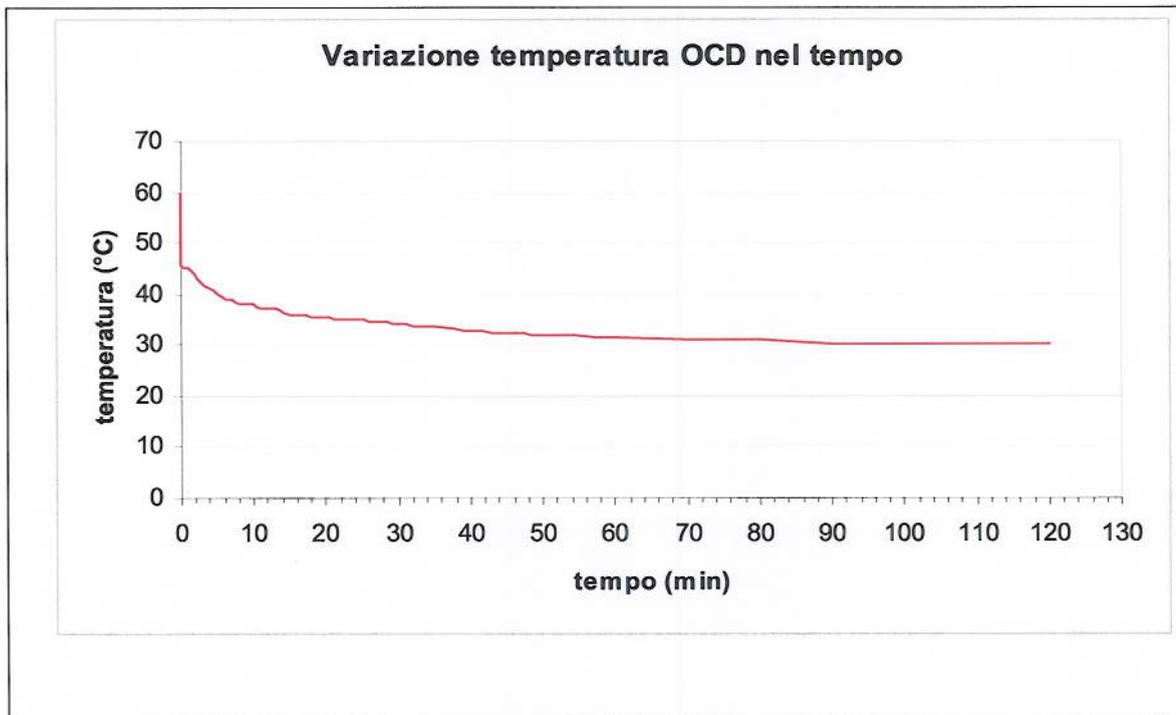


Figura 28 - *Variazione di temperatura dell'OCD dal momento in cui viene a contatto con la superficie del terreno*

La maggiore variazione di temperatura si è avuta nei primi 6-7 minuti dal momento dello sversamento. In tale intervallo di tempo è stato osservato, infatti, un gradiente negativo di circa 1 °C/minuto. Da questo momento in poi la temperatura è diminuita molto più lentamente stabilizzandosi sui 30 °C dopo circa 2 ore dall'inizio dello sversamento.

L'effetto della variazione di temperatura nello strato superficiale di terreno, a circa 2 cm di profondità è mostrato in *Figura 29*. Partendo da una temperatura iniziale di 27.4 °C a tale profondità, l'effetto dello sversamento dell'OCD a 60°C sul terreno è stato quello di portare ad un aumento di temperatura di poco più di 1 °C in due ore circa. Tale variazione di temperatura conferma il fatto che l'OCD si raffredda bruscamente a contatto con il suolo.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 77 di 97 | |
| | | | | |

La cessione di calore al terreno circostante l'interfaccia suolo/OCD avviene esclusivamente per conduzione termica, cioè senza che allo scambio termico sia associato un trasferimento di materia (flusso di OCD in profondità).

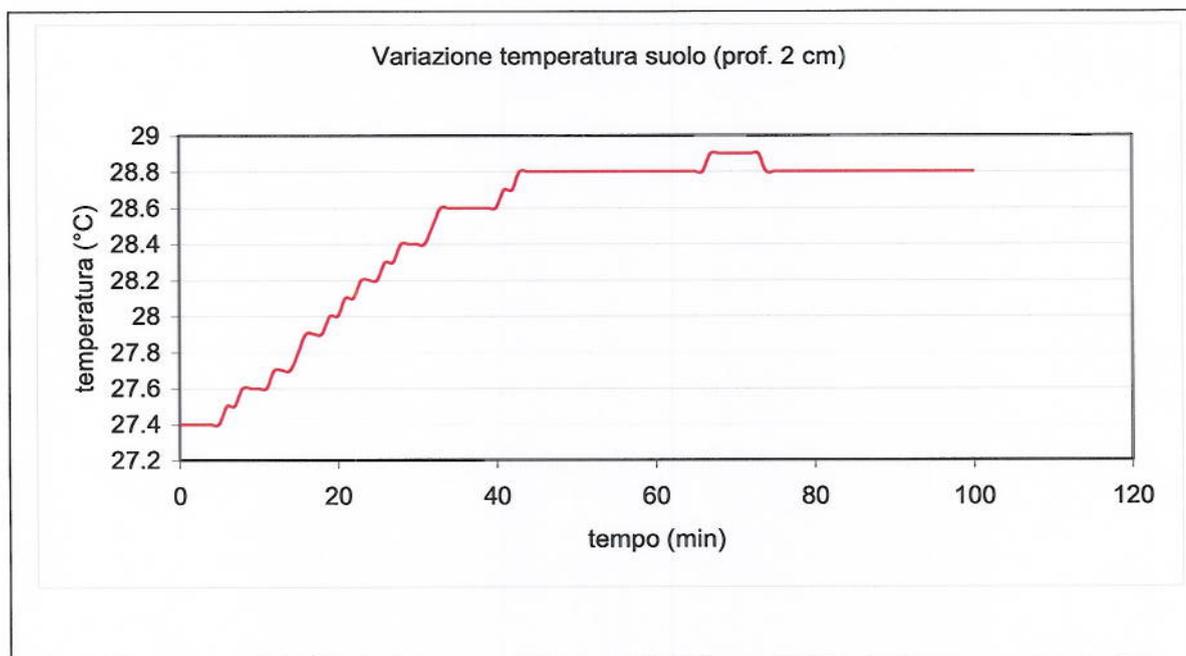


Figura 29 - *Variazione di temperatura del terreno ad una profondità di circa 2 centimetri al di sotto della zona soggetta a sversamento di OCD*

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 78 di 97 | |
| | | | | |

4.2.2 – Sversamento di OCD in condizioni climatiche di tipo umido

Lo sversamento di OCD sul suolo ricostruito in regime climatico umido è stato eseguito all'interno di un impianto pilota (*Figura 22*), equipaggiato con un sistema di irrorazione di acqua *sprinkler-type* al fine di simulare un evento di pioggia. Un particolare di tale sistema di irrorazione è rappresentato in *Figura 30*.



Figura 30 - Vista dall'alto dell'impianto dotato di sistema di irrorazione acqua e della vaschetta di contenimento.

Il terreno, secco al momento della preparazione, è stato inizialmente soggetto a più cicli di pioggia per circa una settimana al fine di assicurarne una sua omogenea saturazione.

La quantità d'acqua irrorata giornalmente è stata determinata facendo riferimento ai dati pluviometrici del Centro Meteorologico Lombardo. In particolare, al fine di considerare una situazione climatica tra le più sfavorevoli, si è presa in considerazione la media dei

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 79 di 97 | |

picchi massimi mensili di millimetri di pioggia in provincia di Milano. Tale valore corrisponde a circa 100 mm di pioggia/m² nell'arco di una giornata.

Nel caso dell'esperimento in questione, per riprodurre l'evento di pioggia dell'intensità sopra riportata è stato necessario irrorare giornalmente circa 50 litri di acqua. Al fine di rendere più realistico l'evento di pioggia in relazione alle dimensioni dell'impianto, l'irrorazione non è stata eseguita in un'unica soluzione ma in n°3 fasi successive, ad intervalli di circa 2 ore l'uno dall'altro e per la durata di circa 4 minuti ciascuno.

Le condizioni ambientali precedenti all'evento sperimentale erano le seguenti:

- temperatura ambiente: 20 °C
- temperatura alla superficie del terreno: 19 °C
- umidità del terreno (%Vol) a 0,70 m: 29.3
- umidità del terreno (%Vol) a 0.30 m: 30.5
- temperatura OCD: 60 °C

Anche in questo caso, come per l'esperimento in condizioni climatiche secche, prima di eseguire lo sversamento, sul terreno di prova è stata posizionata una vaschetta rettangolare (40 cm x 13 cm) con pareti in plexiglas e priva di fondo al fine di contenere l'OCD versato ed evitare la dispersione dello stesso su tutta la superficie dell'impianto pilota (*Figure 30 e 31*).

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 80 di 97 | |
| | | | | |



Figura 31 - Sversamento dei primi due litri di OCD all'interno della vaschetta di contenimento durante la fase di sperimentazione in condizioni umide.

Subito dopo lo sversamento dei primi 2 litri di OCD si è formato un battente di circa 2 centimetri all'interno del perimetro di confinamento. Lo spessore di tale battente è aumentato notevolmente con il secondo sversamento e in seguito al terzo sversamento si è riempito completamente il volume di contenimento ancora disponibile. Sono stati complessivamente versati circa 6 litri di OCD. Questo significa che il mezzo poroso ha registrato una capacità di drenaggio inferiore al flusso operativo di alimentazione di OCD, sebbene la percolazione fosse agevolata da fenomeni cinetici di run-off.

La registrazione dei valori di temperatura dell'OCD durante il suo sversamento ha permesso di osservare una notevole diminuzione della stessa nel momento in cui il fluido veniva a contatto con il suolo. Infatti, alle condizioni sperimentali descritte, si è verificata una diminuzione istantanea di temperatura dell'OCD da 60 a 42°C nel momento in cui l'OCD è venuto a contatto con la superficie del terreno. Dopo 10 minuti la temperatura dell'OCD si è dimezzata raggiungendo i 30°C. La repentina diminuzione

della temperatura al contatto con la superficie umida del terreno ha comportato un aumento della sua viscosità che lo ha reso praticamente immobile e incapace di percolare formando uno spesso strato. In *Figura 32* è mostrato il profilo di variazione di temperatura dell'OCD in funzione del tempo.

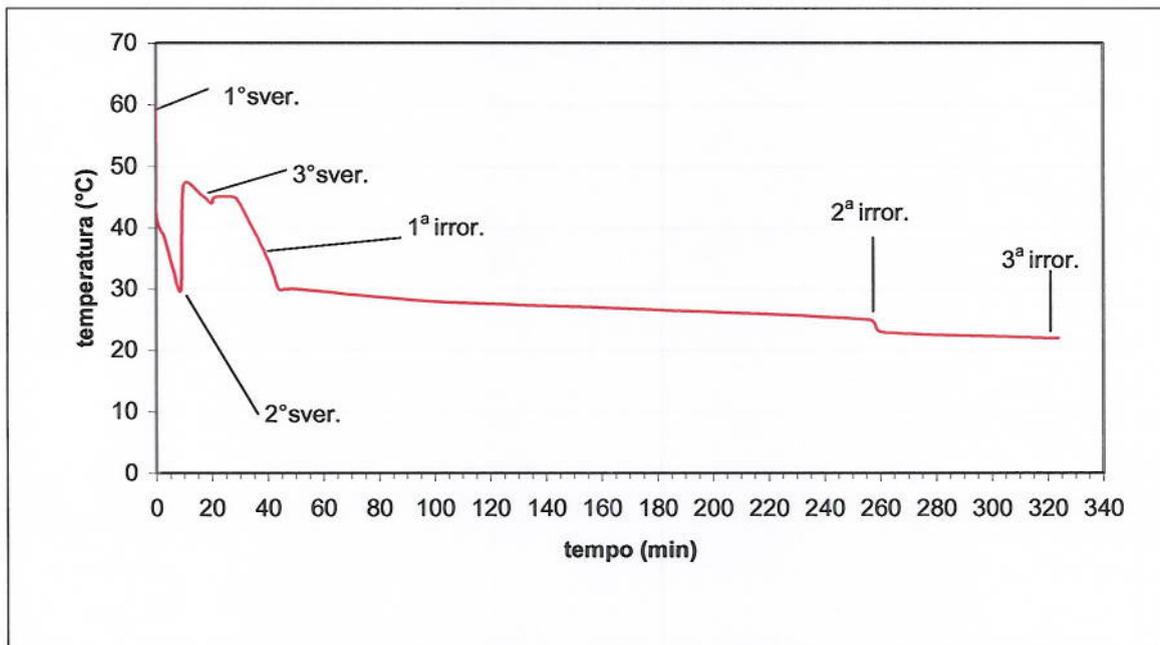


Figura 32 - Rappresentazione grafica della variazione di temperatura dell'OCD nel tempo in relazione agli sversamenti e alle irrorazioni d'acqua.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 82 di 97 | |
| | | | | |

Per osservare l'effetto di variazione di temperatura al contatto tra OCD in fase di raffreddamento e OCD a 60 °C, lo sversamento successivo è stato eseguito sullo strato di contaminante che aveva raggiunto la temperatura di 30 °C, prima del suo raffreddamento completo. Tale modalità di sversamento ha permesso di mitigare lo shock termico dell'OCD rispetto al caso precedente. Si è osservata una diminuzione, da 60 a 47 °C nel momento dello sversamento, mentre in seguito e la temperatura si è abbassata più lentamente raggiungendo i 44 °C dopo circa 10 minuti. A questa temperatura della superficie del battente, è stato eseguito l'ultimo sversamento e la temperatura dell'OCD di ultimo travaso è passata da 60 a 45 °C istantaneamente, diminuendo di solo 1°C nell'intervallo di dieci minuti e raggiungendo i 35 °C dopo circa 20 minuti. A questo punto si è proceduto alla prima irrorazione d'acqua, per simulare un evento meteorico immediatamente successivo allo sversamento, osservando gli effetti apportati al gradiente di temperatura e alla mobilità dell'OCD (*Figura 33*).



Figura 33 - Prima simulazione di pioggia dopo lo sversamento di OCD.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 83 di 97 | |

In seguito al primo evento di pioggia si è assistito ad una ulteriore diminuzione della temperatura dell'OCD che ha raggiunto i 30 °C subito dopo l'evento piovoso. Dopo circa 5 ore dall'inizio del primo sversamento, la temperatura della superficie dell'OCD è stata circa uguale a quella dell'ambiente esterno, ossia 22 °C.

E' stata notata l'immediata formazione di piccoli ristagni d'acqua permanenti sulla superficie dell'OCD in seguito all'evento piovoso (*Figura 34*). Tali ristagni evidenziano un'elevata impermeabilità dello stesso in seguito al suo raffreddamento.



Figura 34 - Formazione di ristagni d'acqua sulla superficie dell'OCD dopo la prima simulazione di pioggia.

Le simulazioni di pioggia sono state portate avanti per circa 3 giorni, effettuando irrorazioni secondo cicli periodici e stazionari di 4 minuti ciascuno ogni 2 ore.

La misura della variazione di temperatura del suolo è stata eseguita attraverso l'utilizzo di sonde inserite a profondità diverse. L'andamento della temperatura registrato dalla sonda più superficiale collocata a circa 2 cm di profondità, è osservabile in *Figura 35*.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 84 di 97 | |
| | | | | |

Si è registrato un riscaldamento del suolo dopo il secondo sversamento e tale riscaldamento è stato preceduto da una repentina diminuzione della temperatura, da circa 17 a 15,5 °C.

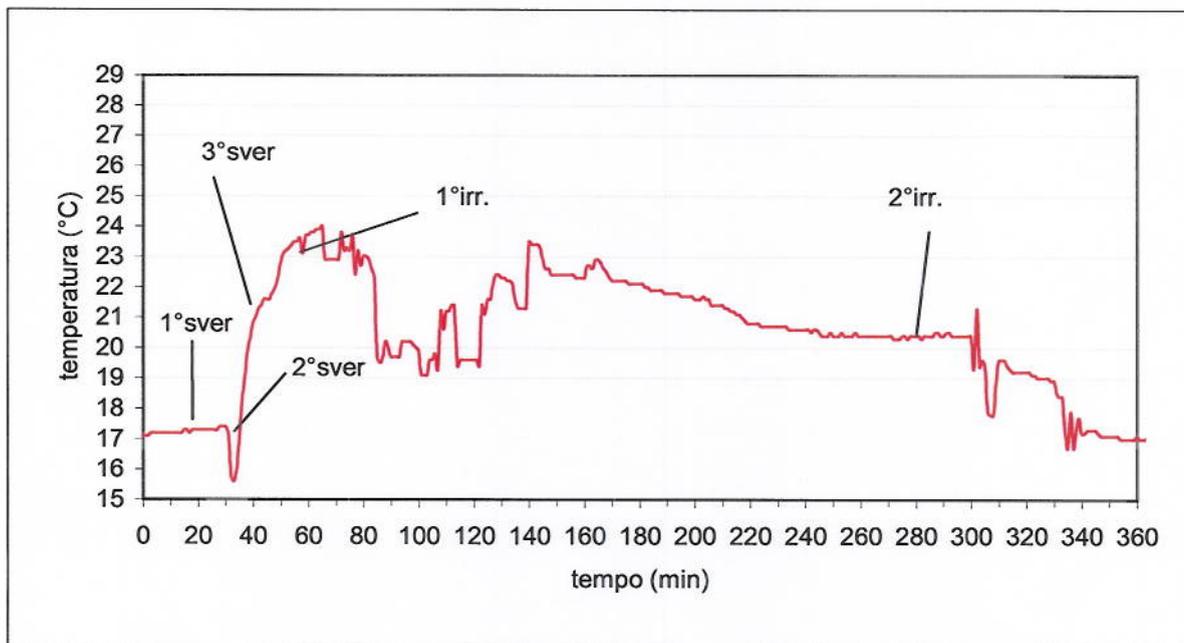


Figura 35 - Rappresentazione grafica della variazione di temperatura nel tempo a 2 cm di profondità, in relazione agli sversamenti e alle irrorazioni d'acqua.

In seguito al terzo sversamento la temperatura è continuata a salire gradualmente fino a raggiungere un massimo di circa 24 °C, subito dopo la prima simulazione di pioggia. In seguito all'evento di pioggia la temperatura è diminuita rapidamente fino a portarsi a circa 19,5 °C dopo circa 20 minuti. Nell'ora successiva si è osservato un andamento piuttosto irregolare della curva con successivi aumenti e diminuzioni di temperatura nell'intervallo 19-24 °C. Nelle ore successive la temperatura è diminuita in modo più regolare manifestando rapidi cali solo in seguito alle irrorazioni di acqua. L'effetto del riscaldamento del terreno, nei primi 2 cm di profondità, è scomparso dopo circa 5 ore dall'inizio del primo sversamento.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 85 di 97 | |
| | | | | |

In *Figura 36* è rappresentata la curva della variazione di temperatura del terreno alla profondità di 4 cm.

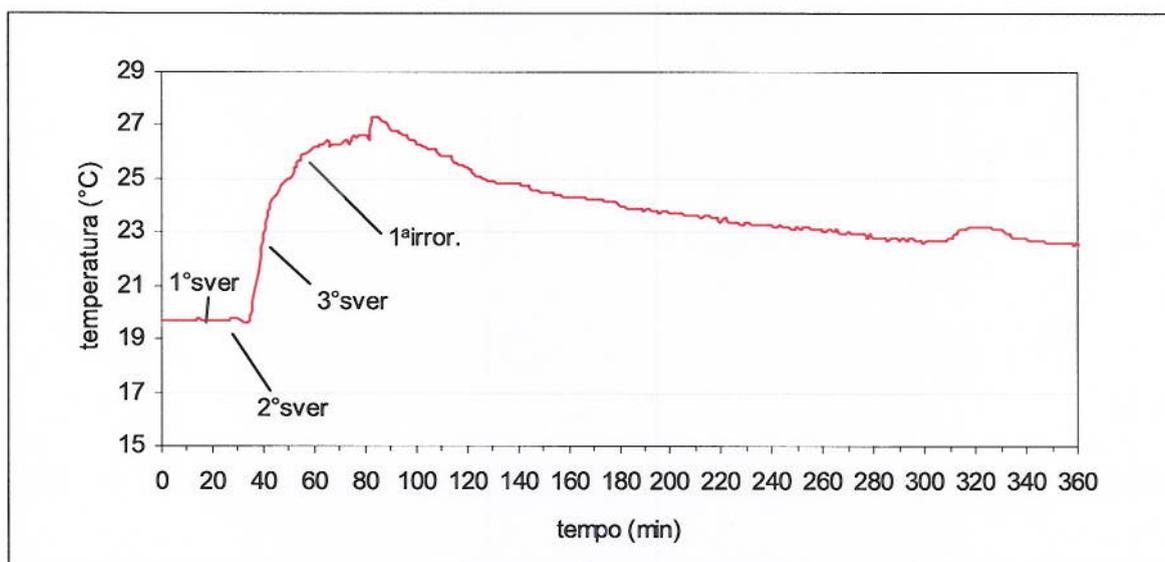


Figura 36 - Rappresentazione grafica della variazione di temperatura nel tempo a 4 cm di profondità, in relazione agli sversamenti e alle irrorazioni d'acqua.

Alla profondità di 4 cm, la temperatura prima dello sversamento era di circa 20 °C e il suo aumento, indotto dallo sversamento dell'OCD è visibile subito dopo il secondo sversamento, anche in questo caso preceduto da una seppur minima diminuzione di temperatura. Con il terzo sversamento la temperatura è salita gradualmente raggiungendo un massimo di circa 27 °C dopo circa un'ora dal primo sversamento. Nelle ore successive la temperatura è diminuita gradualmente senza rilevanti variazioni. Come mostrato in *Figura 37* alla profondità di 10 cm, l'aumento di temperatura ha cominciato a verificarsi dopo il terzo sversamento. Da circa 25 °C iniziali sono stati raggiunti quasi 28 °C dopo circa un'ora dall'ultimo sversamento. Nelle ore successive la temperatura è diminuita gradualmente fino a subire un nuovo aumento dopo circa 4 ore dall'ultimo sversamento.

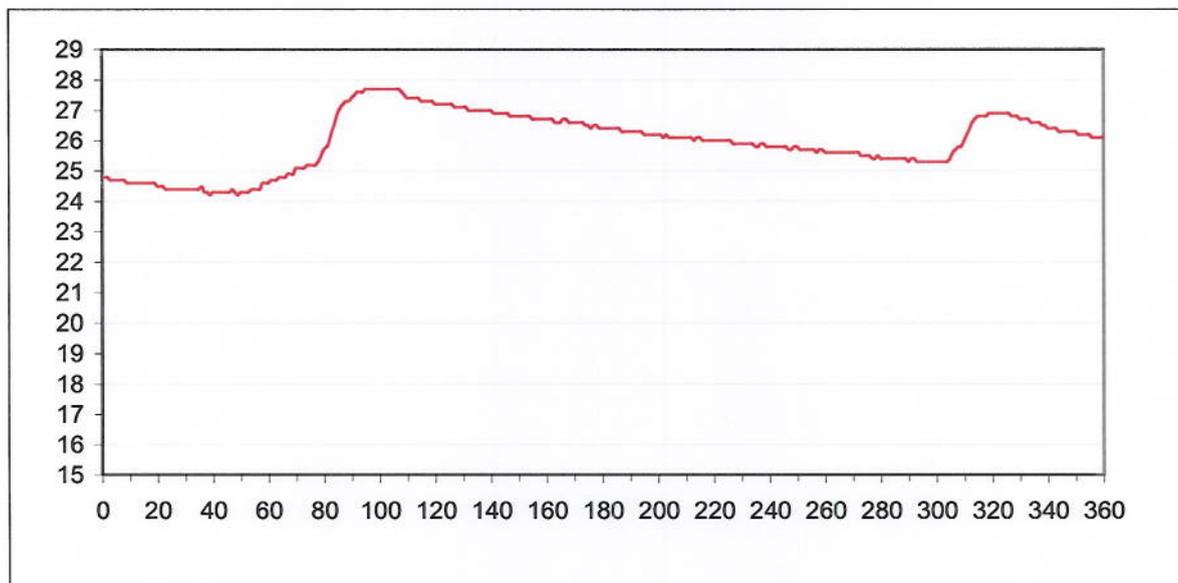


Figura 37 - Rappresentazione grafica della variazione di temperatura nel tempo a 10 cm di profondità, in relazione agli sversamenti e alle irrorazioni d'acqua.

Per quanto riguarda la misura dell'umidità nel terreno durante la fase sperimentale non si sono registrate significative variazioni e il valore di umidità è rimasto pressoché costante intorno al 30 % Vol.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 87 di 97 | |

4.3 Campionamento delle matrici

4.3.1 – Matrice solida

Il campionamento della matrice solida è stato effettuato sia da impianto “a secco” sia da impianto “ad umido”.

In entrambi i casi, i campioni di terreno sono stati prelevati al di sotto dello strato contaminato, alla profondità di circa 10 cm dalla superficie. Al fine di avere un riferimento di partenza per la successiva interpretazione dei dati analitici, è stato preventivamente campionato e analizzato un campione di fondo naturale rappresentativo di entrambi gli impianti. In *Tabella 10* è riportato un elenco dei campioni di suolo prelevati.

| Campione | Descrizione |
|----------|--|
| TB05 | Suolo incontaminato (fondo naturale) |
| TB06 | Suolo da impianto “a secco” dopo 30 gg |
| TB07 | Suolo da impianto “a umido” dopo 15 gg |

Tabella 10 - Elenco dei campioni di suolo prelevati dall'impianto a secco

4.3.2 – Matrice liquida-acquosa

Il campionamento delle acque di percolazione è stato eseguito dopo intervalli di tempi prefissati. Le acque di percolazione sono state accumulate all'interno di un serbatoio esterno attraverso l'utilizzo di due pompe peristaltiche. I campioni sono stati prelevati puntualmente dalla linea che porta acqua al serbatoio. Il primo campionamento è stato effettuato dopo 24 ore, il secondo a 48 ore ed il terzo a 120 ore circa. Per ottenere una caratterizzazione il più possibile indicativa per l'esperimento in atto e per evitare

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 88 di 97 | |
| | | | | |

possibili interpretazioni errate dei risultati analitici è stata eseguito un campionamento della prima acqua di percolazione prima di eseguire lo sversamento dell'OCD sul terreno in questione. Una lista dei campioni di acqua prelevati dall'impianto è riportata in *Tabella 11*.

| Campione | Descrizione |
|----------|--------------------------------------|
| TB01 | Acqua incontaminata (fondo naturale) |
| TB02 | Acqua accumulata dopo 24 ore |
| TB03 | Acqua accumulata dopo 48 ore |
| TB04 | Acqua accumulata dopo 120 ore |
| TB08 | Acqua accumulata dopo 12 giorni |

Tabella 11 - Elenco dei campioni di acqua prelevata dall'impianto a umido

4.4 Metodologie analitiche per suoli ed acqua

Lo scopo delle analisi di campioni di suolo e delle relative acque di percolazione è quello di verificare l'effettivo pericolo di contaminazione delle diverse matrici ambientali in seguito allo sversamento accidentale di olio combustibile denso a basso tenore di zolfo.

Per quanto riguarda la scelta delle sostanze inquinanti da ricercare nei campioni in esame, al fine di una caratterizzazione della contaminazione ai sensi del DM 471/99 e tenendo presente la composizione chimica iniziale dell'OCD utilizzato per le prove sperimentali, si è scelto di ricercare i seguenti analiti:

- Aromatici (benzene, etilbenzene, stirene, toluene e xilene),
- Idrocarburi con C<12 e C>12 (per i soli suoli),
- Idrocarburi totali come n-esano (per le sole acque),

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 89 di 97 | |

- IPA (idrocarburi policiclici aromatici),
- Nichel e Vanadio.

Le metodiche analitiche utilizzate fanno riferimento a metodi ufficiali e sono riportate in

Tabella 12.

| | <i>terreni</i> | <i>acque</i> |
|--|--------------------------------------|--|
| <i>Idrocarburi C>12</i> | <i>ISO-TR-11046-94 met. A</i> | - |
| <i>Idrocarburi C<12</i> | <i>EPA 8015-B/96</i> | - |
| <i>Idrocarburi C_{n-esano}</i> | - | <i>APAT-IRSA 5160 B2/2003</i> |
| <i>Aromatici</i> | <i>EPA 8260 B/96</i> | <i>EPA 5030B (estrazione) EPA 8021 (analisi)</i> |
| <i>IPA</i> | <i>EPA 8270 D 1998</i> | <i>EPA 8270 D 1998</i> |
| <i>Metalli</i> | <i>DM 13-9-99 EPA 6010B 1996</i> | <i>UNI EN ISO 11885:2000</i> |

Tabella 12 - Elenco delle sostanze analizzate e dei metodi di analisi ufficiali utilizzati per suoli e acque

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 90 di 97 | |
| | | | | |

4.5 Risultati analitici

4.5.1 – *Olio combustibile denso (OCD) sversato*

L'analisi chimica del campione di OCD utilizzato per le sperimentazioni ha permesso di identificare e quantificare i seguenti parametri (*Tabella 13*):

| Parametri | u.m. | Concentrazione | Metodo di prova |
|-----------------------------|-------|----------------|----------------------------------|
| Densità a 15°C | g/mL | 0,920 | EI-AI-TM-001 |
| Frazione satura | % | 30,8 | EI-AO-TM-017 |
| Frazione aromatica | % | 38,0 | EI-AO-TM-017 |
| Frazione polare | % | 28,9 | EI-AO-TM-017 |
| Asfalteni | % | 2,3 | EI-AO-TM-017 |
| Nichel | mg/kg | 5,3 | UNI EN 13657 2004/EPA 6010B 1996 |
| Vanadio | mg/kg | 3,0 | UNI EN 13657 2004/EPA 6010B 1996 |
| Benzene | mg/kg | <0,01 | EPA 8260 B/96 |
| Toluene | mg/kg | 0,82 | EPA 8260 B/96 |
| Etilbenzene | mg/kg | 0,18 | EPA 8260 B/96 |
| o,m,p-xilene | mg/kg | 0,78 | EPA 8260 B/96 |
| Acenaftene | mg/kg | <0,01 | EPA 8270 D/98 |
| Antracene | mg/kg | <0,01 | EPA 8270 D/98 |
| benzo(a)pirene | mg/kg | <0,01 | EPA 8270 D/98 |
| Crisene | mg/kg | <0,01 | EPA 8270 D/98 |
| dibenz(a,h)antracene | mg/kg | <0,01 | EPA 8270 D/98 |
| indeno(1,2,3-cd)pirene | mg/kg | <0,01 | EPA 8270 D/98 |
| benzo(k)fluorantene | mg/kg | <0,01 | EPA 8270 D/98 |
| benzo(a)antracene | mg/kg | <0,01 | EPA 8270 D/98 |
| Fluorantene | mg/kg | <0,01 | EPA 8270 D/98 |
| Fluorene | mg/kg | <0,01 | EPA 8270 D/98 |
| Naftalene | mg/kg | 5,00 | EPA 8270 D/98 |
| Pirene | mg/kg | <0,01 | EPA 8270 D/98 |
| Metilterbutiletere (MTBE) | mg/kg | <0,01 | EI-AO-TM-006 |
| Metiletilchetone (MEK) | mg/kg | <0,01 | EI-AO-TM-006 |
| Metilisobutilchetone (MIBK) | mg/kg | <0,01 | EI-AO-TM-006 |
| Alifatici>C6-C8 | mg/kg | 53,13 | EI-AO-TM-017 |
| Alifatici >C8-C10 | mg/kg | 69,19 | EI-AO-TM-017 |
| Alifatici> C10-C12 | mg/kg | 37,32 | EI-AO-TM-017 |
| Alifatici>C12-C16 | mg/kg | 33,09 | EI-AO-TM-017 |
| Alifatici>C16-C28 | mg/kg | 12000 | EI-AO-TM-017 |
| Alifatici>C28-C36 | mg/kg | 35000 | EI-AO-TM-017 |
| Aromatici>C8-C10 | mg/kg | 48,56 | EI-AO-TM-017 |
| Aromatici>C10-C12 | mg/kg | 57,80 | EI-AO-TM-017 |
| Aromatici>C12-C16 | mg/kg | 16000 | EI-AO-TM-017 |
| Aromatici>C16-C21 | mg/kg | 10678 | EI-AO-TM-017 |
| Aromatici>C21-C28 | mg/kg | 113329 | EI-AO-TM-017 |
| totali idrocarburi gas | mg/kg | 187313 | EI-AO-TM-032 |

Tabella 13 – Determinazione analitica OCD

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 91 di 97 | |
| | | | | |

4.5.2 – Suolo

I risultati delle analisi relative al campione di fondo naturale sono riportati in *Tabella*

14.

| Parametri | TB05 -Concentrazioni rilevate [mg/Kg] | Limite 471/99 Tab. 1B [mg/Kg] |
|--|--|----------------------------------|
| Idrocarburi C>12 | 38,8 | 750 |
| Idrocarburi Policiclici Aromatici | | |
| Naftalene | <0,01 | - |
| Acenaftene | <0,01 | - |
| Acenaftilene | <0,01 | - |
| Fluorene | <0,01 | - |
| Fenantrene | <0,01 | - |
| Antracene | <0,01 | - |
| Fluorantene | 0,08 | - |
| Pirene | 0,06 | 50 |
| Benzo(a)antracene | 0,02 | 10 |
| Benzo(a)pirene | 0,02 | 10 |
| Benzo(b)fluorantene | 0,03 | 10 |
| Benzo(k)fluorantene | 0,03 | 10 |
| Benzo(g,h,i)perilene | 0,04 | 10 |
| Crisene | 0,03 | 50 |
| Dibenzo(a,h)antracene | 0,01 | 10 |
| Indeno(1,2,3-cd)pirene | 0,03 | 5 |
| Totali | 0,27 | 100 |
| Aromatici | | |
| Benzene | <0,01 | 2 |
| Etilbenzene | <0,01 | 50 |
| Stirene | <0,01 | 50 |
| Toluene | <0,01 | 50 |
| o,m,p-Xileni | <0,01 | 50 |
| Metalli | | |
| Nichel | 11,8 | 500 |
| Vanadio | 14,6 | 250 |

Tabella 14 - Risultati analitici per il suolo prima dello sversamento (TB05)

Dall'osservazione dei dati riportati in *Tabella 14* si evince chiaramente che nei suoli di partenza la concentrazione dei parametri analizzati risulta ampiamente al di sotto dei limiti tabellari previsti dal DM 471/99 per quanto concerne i siti ad uso commerciale ed industriale.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 92 di 97 | |
| | | | | |

Per quanto riguarda le analisi dei suoli post-sperimentazione, considerando che le concentrazioni di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) nell'OCD di partenza sono al di sotto dei limiti di rilevabilità (<0.01 mg/Kg) e considerando che nei suoli i valori degli stessi IPA sono ampiamente al di sotto dei limiti legislativi, si è scelto di non ricercare tali sostanze e di analizzare i BTEX e gli idrocarburi.

In *Tabella 15* sono riportati i risultati delle analisi dei campioni di suolo prelevati dai due impianti dopo lo sversamento

| Parametri | Concentrazioni rilevate [mg/kg] | | Limite 471/99 Tab. 1B [mg/Kg] |
|------------------|---------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| | TB06 | TB07 | |
| | "a secco" 30 giorni | "a umido" 15 giorni | |
| Idrocarburi C<12 | <10 | <10 | 250 |
| Idrocarburi C>12 | 143 | 178 | 750 |
| Aromatici | | | |
| Benzene | <0,01 | <0,01 | 2 |
| Etilbenzene | <0,01 | <0,01 | 50 |
| Stirene | <0,01 | <0,01 | 50 |
| Toluene | <0,01 | <0,01 | 50 |
| o,m,p-Xileni | <0,01 | <0,01 | 50 |
| Metalli | | | |
| Nichel | 17,1 | 10,9 | 500 |
| Vanadio | 16,8 | 8,6 | 250 |

Tabella 15 - Risultati analitici dei campioni prelevati dopo lo sversamento (TB06 e TB07)

In *Tabella 15* si osserva che le concentrazioni delle sostanze inquinanti rilevate dopo lo sversamento sono ancora ampiamente al di sotto dei limiti tabellari.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 93 di 97 | |
| | | | | |

4.5.3 – *Acqua*

Per quanto riguarda le analisi delle acque di percolazione sono stati determinati gli stessi analiti previsti dal protocollo di analisi dei suoli. I risultati delle analisi relative ai campioni di acqua prelevate dall'impianto “a umido” durante tutta la fase di sperimentazione sono riportati in *Tabella 16*.

| Parametri | Concentrazioni rilevate [µg/l] | | | | | Limite 471/99 [µg/l] |
|--------------------|-----------------------------------|------|------|-------|-------|-------------------------|
| | TB01 | TB02 | TB03 | TB04 | TB08 | |
| | Fondo naturale | 24 h | 48 h | 120 h | 288 h | |
| Idrocarburi totali | <10 | <10 | 14 | <10 | <10 | 350 (n-Esano) |
| Aromatici | | | | | | |
| Benzene | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 1 |
| Etilbenzene | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | 50 |
| Stirene | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | 25 |
| Toluene | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | 15 |
| o,m,p-Xileni | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | 10 (para-xilene) |
| Metalli | | | | | | |
| Nichel | - | - | - | - | 6 | 20 |
| Vanadio | - | - | - | - | <5 | Non normato |

Tabella 16 - Risultati analitici per le acque

Anche in questo caso le concentrazioni degli analiti risultano ampiamente al di sotto dei limiti di legge.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 94 di 97 | |

5. CONCLUSIONI

La sperimentazione ha permesso di trarre le seguenti principali conclusioni:

- **Temperatura dell'OCD e del suolo**

In entrambi gli sversamenti si è assistito ad un calo pressoché istantaneo della temperatura dell'OCD sversato. Dai 60° C iniziali si è giunti a circa 45 °C in pochi secondi. Poi la temperatura ambiente è stata raggiunta mediamente nel giro di 1 ora. La temperatura della matrice suolo immediatamente al di sotto del film liquido si è mantenuta mediamente superiore di circa 2 - 5 °C rispetto a quella ambiente prima dello sversamento. Tale aumento di temperatura è stato comunque riassorbito nel giro di circa 4 ore. Questo fatto indica in via preliminare che l'OCD non tende a penetrare nel terreno a causa dell'aumento della viscosità conseguente alla diminuzione della temperatura.

- **Formazione di uno strato impermeabile**

A causa del rapido raffreddamento l'OCD ha formato uno strato impermeabile all'acqua che si è indurito nel giro di circa 30 minuti. Nell'esperimento "ad umido" si è osservato che l'acqua formava dei locali ristagni sull'OCD e tendendo a penetrare solo dove questo non era presente e continuo. Lo strato di terreno interessato dalla contaminazione è variato tra i 2 ed i 5 cm al massimo (*Figura 38*).

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 95 di 97 | |

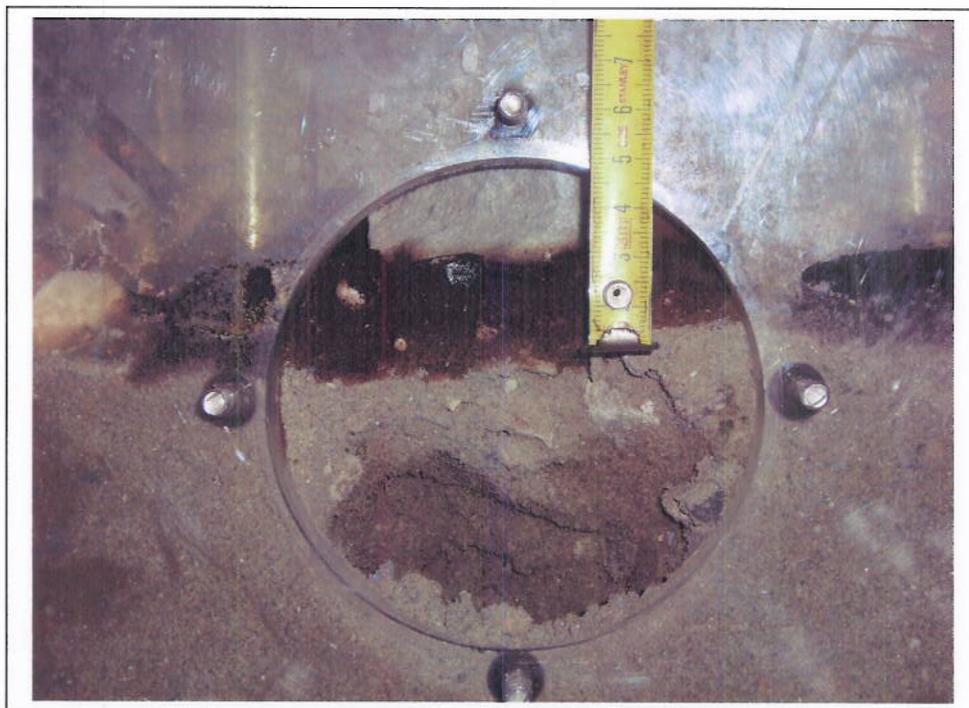


Figura 38 - Immagine dello strato di terreno interessato dalla contaminazione di OCD

- **Analisi del terreno**

In entrambi gli esperimenti è stato dimostrato che il suolo prelevato immediatamente al di sotto dello strato di OCD non presentava alcuna contaminazione, ossia i livelli di inquinamento sono stati ampiamente al di sotto dei limiti tabellari (DM 471/99 tabella 1B, per i suoli a destinazione d'uso industriale).

- **Analisi delle acque.**

I campioni di acqua prelevati fino a 10 giorni dall'inizio dell'esperimento hanno messo in luce che le concentrazioni delle sostanze costituenti l'OCD rivelano uno stato di contaminazione trascurabile, attestandosi ampiamente al di sotto dei limiti di legge (DM 471/99 per le acque sotterranee). Il campionamento nel tempo e la successiva analisi ha permesso di verificare che non esiste alcun andamento

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | Pagina: | 96 di 97 | |

crescente nei tenori di parametri indagati, pertanto l'indice di qualità della matrice acqua sotterranea può ritenersi invariante rispetto al tempo.

- **Verifica dei tempi di intervento.**

Attraverso la fase di indagine conoscitiva del sito sono stati individuati i potenziali punti sensibili delle aree di stoccaggio OCD, in merito al rischio associato ad un accidentale sversamento del contenuto dei serbatoi. Individuate le portate interessate da tali sversamenti, associabili peraltro a sporadici stillicidi più che a perdite di vena continua, è stato possibile simulare l'evento attraverso l'allestimento di n°2 impianti pilota, in funzione del regime meteorologico (piovoso o secco) esistente. I risultati della fase sperimentale hanno evidenziato che la contaminazione del sottosuolo può ritenersi trascurabile in virtù dell'elevata viscosità e della bassa penetrazione del fluido contaminante. Non registrando un aggravamento nel tempo degli indici di qualità delle matrici ambientali coinvolte, si può confermare la piena compatibilità dei tempi indicati nelle procedure interne di intervento manutentivo straordinario con gli eventi di sversamento. Tali interventi consisteranno pertanto nella rimozione del film di OCD attraverso scavo manuale/meccanizzato localizzato.

| | | | | |
|---|------------------|---------|---------------|---|
|  | <i>Relazione</i> | Ident.: | CSE-RL-994/05 |  |
| | | | | |
| | | Pagina: | 97 di 97 | |

6. ALLEGATI

- ALLEGATO 1 Planimetria generale: ubicazione area oggetto di indagine
- ALLEGATO 2 Stratigrafie dei sondaggi PZ A e PZ B.
- ALLEGATO 3 Certificati delle analisi granulometriche dei terreni provenienti dai sondaggi
- ALLEGATO 4 Certificati delle analisi granulometriche dei terreni superficiali
- ALLEGATO 5 Certificati delle prove di permeabilità condotte mediante metodo “Lefranc” a carico variabile.
- ALLEGATO 6 Certificati delle prove di permeabilità condotte mediante metodo “Bouwer & Rice” (SLUG TEST).
- ALLEGATO 7 Raccolta Schede monografiche punti sensibili
 Area Serbatoi stoccaggio da 20.000 m³
- ALLEGATO 8 Raccolta Schede monografiche punti sensibili
 Area Serbatoi stoccaggio da 100.000 m³
- ALLEGATO 9 Rapporti di prova del Laboratorio di ecologia industriale di Fenice S.p.A.
- ALLEGATO 10 Certificato di analisi TAMOIL S.p.A. su olio combustibile denso (OCD).
- ALLEGATO 11 Attestazione di provenienza di inerte granulare utilizzato per la ricostruzione dei terreni.