



ENVIRONMENTAL DIVISION

**Per**

**Eni S.p.A.**

**Divisione Refining & Marketing  
Raffineria di Livorno**

**Eni S.p.A.**

**Divisione Refining & Marketing  
Stabilimento Produzione Lubrificanti di Livorno**

**EniPower S.p.A.**

**Stabilimento di Livorno**

**RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA  
DELLE ATTIVITÀ DI CARATTERIZZAZIONE  
AMBIENTALE**

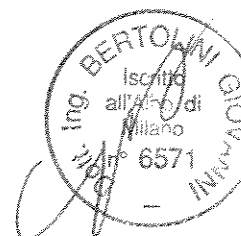
**Contratto FWIENV n° 1-BH-0209-**

FOSTER WHEELER ITALIANA S.p.A.

VIA S. CABOTO, 1 - 20094 CORSICO (MILANO) ITALY - TEL. +39 024486.1 - FAX +39 024486.3112

CAPITALE SOCIALE I.V. € 16.500.000 - CODICE FISCALE/PARTITA IVA/REG. IMPRESE MILANO 00897360152 - R.E.A. MI N. 511367

SOCIETÀ SOGGETTA ALLA DIREZIONE E COORDINAMENTO DELLA CONTROLLANTE FOSTER WHEELER CONTINENTAL EUROPE S.r.l., SOCIO UNICO



## INDICE

<b>EXECUTIVE SUMMARY.....</b>	<b>11</b>
<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>16</b>
<b>2. SCOPO DEL LAVORO .....</b>	<b>18</b>
<b>3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>19</b>
3.1 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....	20
<b>4. INQUADRAMENTO DEL SITO.....</b>	<b>22</b>
4.1 LOCALIZZAZIONE DELL'INSEDIAMENTO PRODUTTIVO .....	22
4.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA .....	24
4.2.1 <i>Inquadramento geologico del sito</i> .....	25
4.2.2 <i>Inquadramento idrogeologico del sito</i> .....	27
<b>5. DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ DI INDAGINE .....</b>	<b>30</b>
5.1 INDAGINI RELATIVE AL PIANO DI CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE, LUGLIO 2004 –GIUGNO 2005 .....	31
5.1.1 <i>Campagna di sondaggi integrativi (seconda fase della Caratterizzazione)</i> .....	35
5.2 MODALITÀ OPERATIVE DI ESECUZIONE DELLE INDAGINI.....	36
5.2.1 <i>Esecuzione e caratteristiche dei sondaggi geognostici</i> .....	36
5.2.2 <i>Installazione e caratteristiche dei piezometri</i> .....	38
5.2.3 <i>Campagna di Soil Gas Survey</i> .....	41
5.3 MODALITÀ DI CAMPIONAMENTO DEI TERRENI.....	42
5.4 MODALITÀ DI CAMPIONAMENTO DELLE ACQUE SOTTERRANEE.....	44
5.5 ESECUZIONE DEI RILIEVI FREATIMETRICI .....	45

5.6	TEST IDRAULICI.....	47
5.6.1	<i>Prove Lefranc</i> .....	49
5.6.2	<i>Slug Test</i> .....	52
5.6.3	<i>Prove idrauliche a gradini di portata</i> .....	54
5.6.4	<i>Prove idrauliche a portata costante</i> .....	57
5.7	RILIEVO TOPOGRAFICO .....	58
<b>6.</b>	<b>ATTIVITÀ DI LABORATORIO .....</b>	<b>59</b>
6.1	ANALISI CHIMICHE .....	59
<b>7.</b>	<b>RISULTATI ANALITICI .....</b>	<b>66</b>
7.1	STATO QUALITATIVO DEI TERRENI.....	66
7.1.1	<i>Raffineria di Livorno – Aree interne</i> .....	67
7.1.2	<i>Raffineria di Livorno - Aree di pertinenza esterna</i> .....	69
7.1.3	<i>Area STAP</i> .....	70
7.1.4	<i>Area EniPower</i> .....	70
7.2	STATO QUALITATIVO DELLE ACQUE DI FALDA.....	71
7.2.1	<i>Falda freatica superficiale</i> .....	72
7.2.2	<i>Falda confinata</i> .....	74
<b>8.</b>	<b>MODELLO CONCETTUALE DEL SITO .....</b>	<b>75</b>
8.1	CARATTERISTICHE AMBIENTALI RILEVANTI DELL' AREA .....	75
8.1.1	<i>Caratteristiche geologiche del sito</i> .....	75
8.1.2	<i>Caratteristiche idrogeologiche del sito</i> .....	76
8.2	STATO QUALITATIVO DELLE MATRICI AMBIENTALI .....	78
8.2.1	<i>Matrice Suolo</i> .....	78
8.2.2	<i>Matrice Acqua</i> .....	81

<b>9. HOT SPOT .....</b>	<b>83</b>
<b>10. MESSA IN SICUREZZA DI EMERGENZA.....</b>	<b>86</b>
<b>11. AREE DI PRIMO INTERVENTO STRALCIATE .....</b>	<b>90</b>

## ALLEGATI

### ALLEGATO 1

- 1a: Corografia dell'area
- 1b: Planimetria generale della Raffineria – STAP – EniPower
- 1c: Planimetria Darsena Ugione e Nuova Darsena Petroli
- 1d: Planimetria percorso oleodotti Raffineria – Darsene
- 1e Planimetria dell'ubicazione delle aree derubricate
- 1f: Freatimetria della falda freatica superficiale
- 1g Freatimetria della falda confinata

### ALLEGATO 2

- 2a: Planimetria con ubicazione delle tracce delle sezioni
- 2b: Sezione litologica A-A'
- 2c: Sezione litologica B-B'
- 2d: Sezione litologica C-C'
- 2e: Sezione litologica D-D'
- 2f: Sezione litologica E-E'
- 2g: Sezione litologica F-F'

### ALLEGATO 3

- 3a Tabulati delle analisi chimiche dei suoli – Aree interne allo Stabilimento, Darsene e Tracciato oleodotti
- 3b Tabulati delle analisi chimiche delle acque sotterranee – Aree interne allo Stabilimento, Darsene
- 3c Tabulato dei risultati della campagna Soil Gas Survey eseguita lungo il tracciato oleodotti

**ALLEGATO 4**

- 4a Tabella analiti e metodologie analitiche per i terreni
- 4b Tabella analiti e metodologie analitiche per le acque sotterranee
- 4c Profili analitici per le singole aree omogenee
- 4d Certificati analitici dei suoli
- 4e Certificati analitici delle melme inertizzate
- 4f Certificati analitici delle acque sotterranee
- 4g Certificati analitici dei campioni di surnatante

**ALLEGATO 5**

- 5a Risultati Test Idraulici
- 5b Stratigrafie dei sondaggi eseguiti e schemi costruttivi dei piezometri
- 5c Documentazione fotografica dei sondaggi geognostici
- 5d Tabella dei parametri chimico-fisici delle acque sotterranee
- 5e Tabella dei piezometri della rete di monitoraggio acque di falda

**ALLEGATO 6**

- 6a Tabella delle coordinate X, Y e Z del rilievo topografico eseguito

**ALLEGATO 7**

- 7a Eccedenze di TPH C>12 nei suoli – Aree interne allo Stabilimento
- 7b Eccedenze di TPH C<12 nei suoli - Aree interne allo Stabilimento
- 7c Eccedenze di MTBE nei suoli - Aree interne allo Stabilimento
- 7d Eccedenze di Benzene nei suoli - Aree interne allo Stabilimento
- 7e Eccedenze di Toluene nei suoli – Aree interne allo Stabilimento
- 7f Eccedenze di Etilbenzene nei suoli – Aree interne allo Stabilimento
- 7g Eccedenze di Xilene nei suoli – Aree interne allo Stabilimento
- 7h Eccedenze di Stirene nei suoli – Aree interne allo Stabilimento

- 7i Eccedenze di Top soil e altre sostanze (Inorg., IPA, Alif. Clorur. Canc.) nei suoli – Aree interne allo Stabilimento
- 7l Eccedenze dell'eluato (Test di cessione ai sensi del D.M 05/02/98)
- 7m Hot spot nei suoli – Aree interne allo Stabilimento
- 7n Eccedenze di TPH C>12 nei suoli – Darsene
- 7o Eccedenze di TPH C<12 nei suoli – Darsene
- 7p Eccedenze di Xilene nei suoli – Darsene
- 7q Eccedenze di Stirene nei suoli – Darsene
- 7r Eccedenze di altre sostanze (As, Cd e Zn) nei suoli - Darsene
- 7s Eccedenze di TPH C>12 nei suoli – Tracciato oleodotti
- 7t Eccedenze di As e Cd nei suoli – Tracciato oleodotti

## ALLEGATO 8

- 8a Eccedenze di MTBE nelle acque di falda superficiale - Aree interne allo Stabilimento
- 8b Eccedenze di Benzene nelle acque di falda superficiale - Aree interne allo Stabilimento
- 8c Eccedenze di p-Xilene nelle acque di falda superficiale - Aree interne allo Stabilimento
- 8d Eccedenze di As e Ni nelle acque di falda superficiale - Aree interne allo Stabilimento
- 8f Hot spot nelle acque di falda superficiale - Aree interne allo Stabilimento
- 8g Eccedenze di MTBE nelle acque di falda superficiale - Darsene
- 8h Eccedenze di Benzene nelle acque di falda superficiale - Darsene
- 8i Eccedenze di Toluene nelle acque di falda superficiale - Darsene
- 8l Eccedenze di Etilbenzene nelle acque di falda superficiale - Darsene
- 8m Eccedenze di p-Xilene nelle acque di falda superficiale - Darsene
- 8n Eccedenze di As nelle acque di falda - superficiale Darsene
- 8p Hot spot nelle acque di falda superficiale - Darsene
- 8t Ubicazione delle opere di Messa in Sicurezza di Emergenza - Aree interne

- allo Stabilimento
- 8u Ubicazione delle opere di Messa in Sicurezza di Emergenza - Darsene

## ALLEGATO 9

- 9a Relazione “Indagine Ambientale in corrispondenza degli Hot spot individuati nel terreno o nella falda” – Università La Sapienza di Roma



## TABELLE

Tabella 4.1: Suddivisione delle Aree omogenee

Tabella 5.1: Sondaggi eseguiti per singola area omogenea (Raffineria di Livorno)

Tabella 5.2: Sondaggi eseguiti per singola area omogenea (Darsene)

Tabella 5.3: Sondaggi eseguiti per singola area omogenea (Tracciato oleodotti)

Tabella 5.4: Sondaggi eseguiti per singola area omogenea (STAP)

Tabella 5.5: Sondaggi eseguiti per singola area omogenea (EniPower)

Tabella 5.6: Caratteristiche costruttive dei piezometri di nuova realizzazione

Tabella 5.7: Test idraulici condotti in corrispondenza della falda freatica e della falda confinata

Tabella 5.8: Valori di conducibilità idraulica nelle prove Lefranc eseguite

Tabella 5.9: Risultati Slug test (valori di K in m/s)

Tabella 5.10: Risultati prove a gradini di portata (valori di K in m/s)

Tabella 5.11: Risultati prove a portata costante (valori di K in m/s)

Tabella 6.1: Numero di campioni di suolo suddiviso per Area omogenea

Tabella 6.2: Campioni di suolo in contraddittorio con ARPAT

Tabella 6.3: Campioni di acqua di falda in contraddittorio con ARPAT

Tabella 7.1: Piezometri con presenza di prodotto in fase libera

Tabella 8.1: Eccedenze in funzione della profondità del campione

Tabella 9.1: Hot spot nei suoli

Tabella 9.2: Hot spot nelle acque di falda

Tabella 10.1: Piezometri perimetrali (Raffineria di Livorno) sottoposti a MISE

Tabella 10.2: Piezometro (Darsena Ugione) sottoposto a MISE

Tabella 10.3: Piezometro (Darsena Petroli) sottoposto a MISE

## FIGURE

Figura 5.1: Distribuzione conducibilità idraulica falda superficiale (Prove di portata a gradini)

Figura 7.1: Istogramma di distillazione frazionata del prodotto surnatante

## EXECUTIVE SUMMARY

Il presente documento costituisce la Relazione Tecnica Descrittiva, redatta ai sensi dell'Allegato 4 del D.M. 471/99, relativa agli interventi di Caratterizzazione Ambientale condotti per conto di:

- Eni S.p.A. Divisione Refining & Marketing - Raffineria di Livorno,
- Eni S.p.A. Divisione Refining & Marketing – Stabilimento produzione lubrificanti di Livorno (in seguito STAP),
- EniPower S.p.A. – Stabilimento di Livorno.

Lo Stabilimento di Italoil S.r.l. è stato acquisito da ENI Div. R&M in data 1 dicembre 2004 con Atto Notarile prot. n° 9476 del 06 ottobre 2004, pertanto le attività previste dal PdC dell'ottobre 2003 in tale area sono state eseguite da ENI Div. R&M – Raffineria di Livorno.

Nella presente relazione vengono descritte le attività di indagine previste nel Piano di caratterizzazione approvato, che sono state eseguite in accordo alle prescrizioni ricevute nel corso delle CdS e in conformità a quanto riportato all'interno del *“Protocollo operativo delle attività di caratterizzazione ambientale”* - luglio 2004, stilato in accordo con ARPAT.

L'area di Raffineria è ubicata su un'area di sedimentazione alluvionale recente, tra il mare, il Torrente Ugione e la foce dell'Arno, il cui substrato è costituito da sedimenti recenti eterogenei intercalati tra loro, quali sabbie medio-fini di colore grigio e nocciola, sabbie limose e limi argillosi. In molte delle stratigrafie si possono notare livelli centrimetrici – decimetrici di localizzati depositi torbosi che indicano fasi di impaludamento e di rallentamento nella deposizione, indicazione resa palese anche dalla toponomastica della località in cui risiede lo stabilimento produttivo.

I sondaggi geognostici eseguiti a profondità superiore ai 10 metri da p.c. mostrano uno strato impermeabile costituito da argilla limosa, molto consistente, a partire dalle profondità di -9 – -13 m s.l.m. per uno spessore compreso tra 1,5 m – 7,5 m. La natura impermeabile delle argille e il loro spessore garantiscono una buona separazione tra i due acquiferi poresenti (*la falda freatica superficiale ed il corpo idrico confinato sottostante*).

La piezometria della falda superficiale risulta caratterizzata da un gradiente idraulico variabile da zona a zona e generalmente inferiore a 0,15%. Da un'analisi delle possibili direzioni di flusso emerge la tendenza delle acque di falda a convergere nel settore centrale del sito dove si riscontra una depressione piezometrica che si estende su buona parte del sito. La freaticimetria della falda confinata mostra la direzione di flusso prevalente da est verso ovest.

Confrontando i risultati analitici dei campioni di suolo prelevati con i limiti previsti dalla Tabella 1, colonna B dell'Allegato 1 del D.M. 471/99, si evidenzia la presenza di diffuse non conformità superficiali in Aree interne allo Stabilimento ed in isolati punti nelle Aree di pertinenza Esterne. Per quanto riguarda le aree interne di stabilimento, il maggior numero di non conformità è localizzato nelle aree omogenee G, H e I (Aree Interne di Stabilimento a più netta vocazione produttiva, Serbatoi Pensiline ed Impianti). Infatti le mappe delle non conformità nei suoli mostrano una diffusa presenza di sostanze organiche, in particolare nell'area centro-orientale della Raffineria, quali: Idrocarburi C>12, C<12. Le non conformità di metalli, IPA e Composti Alifatici Clorurati Cancerogeni sono identificate in isolati punti del Sito e sono numericamente non rilevanti.

Osservando i risultati analitici delle acque di falda (*falda freatica superficiale e falda confinata*), si riscontra una non conformità diffusa nella maggioranza dei piezometri campionati per i parametri Ferro, Manganese e Solfati; indipendentemente dall'ubicazione dell'area omogenea di appartenenza, tale presenza non è attribuibile a processi industriali svolti all'interno del Sito. Quanto sopra fa presupporre che tale

presenza sia riferibile ad un Valore di fondo naturale sulla base di cui si chiede vengano riparametrizzati i valori di concentrazione limite.

Premesso ciò confrontando i risultati analitici dei campioni di acqua prelevati con i limiti previsti dalla Tabella delle Acque Sotterranee, dell'Allegato 1 del D.M. 471/99, si evidenzia la presenza di isolate non conformità nei piezometri captanti la falda freatica superficiale e una globale conformità ai limiti per i piezometri captanti la falda confinata. Si osserva che i superamenti dei limiti, per quanto riguarda la falda freatica superficiale, sono imputabili a Metalli (As, Ni), Fluoruri, Idrocarburi Aromatici e MTBE.

Dalla campagna di indagine svolta sui suoli e acque di falda, sono stati individuati alcuni punti di Hot spot, relativamente ai parametri persistenti e/o molto tossici e/o cancerogeni elencati nell'Allegato 1 della Nota ISS del 22 ottobre 2004.

L'adozione di misure di Messa in Sicurezza di Emergenza è stata valutata a seguito di un'indagine sito specifica, svolta dall'Università La Sapienza di Roma su incarico della Raffineria di Livorno. L'indagine sito specifica per le sostanze volatili è stata svolta mediante verifica dell'eventuale superamento dei limiti normativi vigenti di esposizione professionale, ovvero dei TLV/TWA. Le analisi mostrano che le concentrazioni aerodisperse degli analiti ricercati in prossimità delle posizioni in cui sono stati effettuati i campionamenti di terreno risultano del tutto compatibili con la realtà impiantistica nella quale sono situate e sono assolutamente irrilevanti da un punto di vista dell'esposizione dei lavoratori e rispecchiano le concentrazioni di fondo ambientale.

Sulla base delle caratteristiche di contaminazione del sito (estensione e magnitudo) e delle direzioni prevalenti di falda che risultano convergere nella maggior parte dei casi verso l'interno dello stesso, non si evidenziano situazioni di esportazione di contaminazione al di fuori del sito stesso. Tuttavia, poiché sono presenti isolate non conformità in prossimità del confine di stabilimento, sono previsti, a scopo puramente preventivo e precauzionale, interventi di Messa in sicurezza di emergenza lungo il

confine di stabilimento finalizzati a impedire l'eventuale esportazione di contaminazione all'esterno del sito stesso. Tali interventi prevedono l'installazione di sistemi di emungimento di acqua di falda in n° 5 piezometri della falda freatica superficiale.

In n° 3 piezometri dove si è rilevata la presenza di prodotto surnatante, saranno attuati interventi di Messa in Sicurezza di Emergenza mediante installazione di sistemi di emungimento di prodotto surnatante. In prossimità del piezometro PZ115, in cui il prodotto è molto denso e difficilmente pompabile, Eni S.p.A. Divisione Refining & Marketing - Raffineria di Livorno ritiene opportuno realizzare nell'intorno del piezometro stesso alcuni saggi esplorativi con escavatore al fine di circoscrivere l'area interessata da prodotto. Una volta individuata l'estensione della zona si procederà all'asportazione della fase libera presente nel sottosuolo e allo smaltimento del materiale derivante ai sensi del DLgs 22/97, di concerto con gli Enti di Controllo preposti.

Eni S.p.A. Divisione Refining & Marketing - Raffineria di Livorno, Eni S.p.A. Divisione Refining & Marketing – STAP Livorno ed EniPower S.p.A. – Stabilimento di Livorno realizzeranno uno specifico impianto di Trattamento Acque di falda (TAF) per il trattamento delle acque che saranno emunte nell'ambito delle attività di Bonifica della falda e Messa in Sicurezza; tale impianto sarà meglio descritto nel Progetto Preliminare di Bonifica della falda. Le acque di falda, opportunamente pre-trattate nell'impianto TAF, verranno riutilizzate all'interno dell'impianto esistente di trattamento acque per la chiarificazione, dissalazione e demineralizzazione, riducendo, in quantità equivalente, l'acquisto di acqua per uso industriale, come previsto dal Decreto del Ministero dell'Ambiente 185/03 (Articolo 3). Nelle more della approvazione dei Progetti e della realizzazione di tale impianto TAF, le acque emunte dai sistemi di MISE saranno smaltite presso impianti autorizzati alla gestione dei rifiuti ai sensi del Dlgs. 22/97. In tale ambito, al fine di ottimizzare la gestione delle acque di falda emunte, Eni S.p.A. Divisione Refining & Marketing - Raffineria di Livorno, chiederà all'Ente competente, Provincia di Livorno, autorizzazione ai sensi del Dlgs. 22/97 per il trattamento delle acque di falda

emunte provenienti dalle attività di MISE nell'esistente impianto di Trattamento Acque Effluenti (TAE) della Raffineria.

Eni S.p.A. Divisione Refining & Marketing - Raffineria di Livorno ha intenzione di trattare presso l'impianto TAF, di futura costruzione, anche le acque provenienti dalle attività di Messa in Sicurezza di Emergenza/Bonifica dell'attiguo deposito ENI Divisione Refining & Marketing Stabilimento G.p.L.

Recependo ii risultati delle indagini, sarà sviluppato il "*Progetto preliminare di bonifica delle acque di falda*", che sulla base degli intereventi di Messa in Sicurezza di Emergenza riportati nel presente documento, definirà gli interventi da adottare per la bonifica delle acque di falda del sito in esame.

## 1. PREMESSA

Il presente documento costituisce la Relazione Tecnica Descrittiva, redatta ai sensi dell'Allegato 4 del D.M. 471/99, relativa agli interventi di Caratterizzazione Ambientale condotti per conto di:

- Eni S.p.A. Divisione Refining & Marketing - Raffineria di Livorno,
- Eni S.p.A. Divisione Refining & Marketing – Stabilimento produzione lubrificanti di Livorno (in seguito STAP),
- EniPower S.p.A. – Stabilimento di Livorno.

Lo Stabilimento di Italoil S.r.l. è stato acquisito da ENI Div. R&M in data 1 dicembre 2004 con Atto Notarile prot. n° 9476 del 06 ottobre 2004, pertanto le attività previste dal PdC dell'ottobre 2003 in tale area sono state eseguite da ENI Div. R&M – Raffineria di Livorno.

La società Foster Wheeler Italiana S.p.A. - Environmental Division (FWIENV in seguito) ha ricevuto incarico dalle suddette società di redigere la seguente Relazione Tecnica Descrittiva del piano di indagini presentato nel documento *“Piano della Caratterizzazione”*, rev. 0, redatto ai sensi del D.M. 471/99 da FWIENV nell'ottobre 2003 e approvato nel Verbale della CdS decisoria, ex art. 14 comma 2 del 23 aprile 2004, e alle successive integrazioni esposte nel documento *“Integrazioni al documento Piano della Caratterizzazione D.M. 471/99 in accordo alle osservazioni e prescrizioni della Riunione Tecnica del 19/02/04”* ed in conformità con quanto prescritto ed autorizzato dalle Autorità Competenti in sede di Conferenza dei Servizi Decisoria del 23 Aprile 2004.

In particolare, le attività di prelievo, identificazione, conservazione ed analisi dei campioni di terreno e di acqua di falda sono state condotte in rispetto a quanto indicato nel



*“Protocollo operativo delle attività di caratterizzazione ambientale”*, rev. 0 - luglio 2004,  
predisposto in accordo con ARPAT Livorno.

---

Luglio 2005  
Rev. 0

Eni S.p.A. – Div. R&M - Raffineria di Livorno  
Eni S.p.A. – Div. R&M - STAP  
EniPower S.p.A. – Stabilimento di Livorno  
Relazione Tecnica Descrittiva delle attività di  
Caratterizzazione Ambientale

17 di 90

*Contratto FWIENV n° 1-BH-0209-*

## 2. SCOPO DEL LAVORO

Il presente documento si prefigge i seguenti obiettivi:

- ✓ descrivere le attività di indagine svolte;
- ✓ raccogliere e sistematizzare i dati raccolti;
- ✓ descrivere la geologia e l'idrogeologia del sito, esprimendo il modello concettuale del sito;
- ✓ individuare la tipologia e la localizzazione dell'eventuale contaminazione presente nelle varie componenti ambientali dell'area;
- ✓ fornire le basi progettuali di riferimento per la stesura del "Progetto di bonifica", da redigere ai sensi del D.M. 471/99.

In particolare, nella presente relazione sono riportati:

- i risultati delle indagini geognostiche ed idrogeologiche effettuate nel sito in oggetto;
- i risultati delle analisi di laboratorio;
- la mappatura della qualità dei suoli all'interno delle aree investigate;
- la mappatura della qualità delle acque della falda freatica superficiale e della falda confinata all'interno delle aree investigate;
- la ricostruzione del modello concettuale del sito.

### 3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa di riferimento è la seguente:

- Decreto Legislativo n° 22 del 5 Febbraio 1997 (Decreto Ronchi) “Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689 sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggi”;
- Decreto del Ministero dell'Ambiente n° 471 del 25 Ottobre 1999, “Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell’Art.17 del Decreto Legislativo 5 febbraio 1997, n°22, e successive modificazioni e integrazioni”.
- Decreto del Ministero dell’Ambiente n°468 del 18 settembre 2001, (Supplemento ordinario alla Gazzetta ufficiale 16 gennaio 2002 n. 13) *Regolamento recante: "Programma nazionale di bonifica e ripristino ambientale"*
- Decreto del Ministero dell'Ambiente 24 febbraio 2003 (SO n. 83 alla Gazzetta ufficiale 27 maggio 2003 n. 121) *Perimetrazione del sito di interesse nazionale di Livorno;*
- Decreto del Ministero dell’Ambiente 5 febbraio 1998 (Supplemento ordinario n.72 alla Gazzetta Ufficiale 16 Aprile 1998, n. 88), *Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n°22;*
- Nota dell’Istituto Superiore della Sanità del 22 ottobre 2004, 0051321, oggetto: Sito di bonifica di interesse nazionale di Venezia Porto Marghera, relativa alla definizione di Hot spot;

- Verbale della Conferenza di Servizi decisoria del 5 aprile 2005 – Sito di Interesse Nazionale di Venezia, Porto Marghera – relativo a Hot spot ed Analisi di Rischio

Si precisa che relativamente al parametro Idrocarburi Totali nelle acque di Falda, si è determinato il parametro "Idrocarburi Totali espressi come n-esano" coerentemente con quanto riportato nel DM 471/99, Allegato 1, Tab. 2 e si è utilizzato un valore limite dello stesso posto pari a 350 µg/l. Detto parametro è stato riferito a tutti i composti idrocarburi, ad esclusione delle singole sostanze per le quali il D.M. 471/99, definisce specifiche concentrazioni limite"

Per quanto riguarda il Parametro MTBE nelle acque di falda è stato assunto il limite di riferimento pari a 350µg /l, assimilandolo al parametro "Idrocarburi Totali come n-esano".

### 3.1 Documentazione di riferimento

I documenti utilizzati come riferimento per la presente Relazione tecnica sono:

- *"Piano della Caratterizzazione D.M. 471/99"*, rev. 0 – FWENVI - ottobre 2003
- *"Integrazioni al documento Piano della Caratterizzazione D.M. 471/99 in accordo alle osservazioni e prescrizioni della Riunione Tecnica del 19/02/04"*, rev. 0 - FWIENV - aprile 2004;
- *"Protocollo operativo delle attività di caratterizzazione ambientale"*, rev. 0 - FWIENV - luglio 2004;

- “Aree di primo intervento n° 3, 8, 10, 12, 13 – Relazione Tecnica Descrittiva delle attività di caratterizzazione condotte nelle aree di primo intervento ai sensi del D.M. 471/99”, rev. 0 - FWIENV - dicembre 2004;
- “Area di primo intervento n° 4 Serbatoi Bitumi – Relazione Tecnica Descrittiva delle attività di caratterizzazione condotte e intervento di messa in sicurezza d'emergenza”, - FWIENV - dicembre 2004;
- “Area di primo intervento n° 6 Impianto Topping – Relazione Tecnica Descrittiva delle attività di caratterizzazione condotte e intervento di messa in sicurezza d'emergenza”, - FWIENV - gennaio 2005;
- “Area di primo intervento n° 7 Serbatoio Zolfo – Relazione Tecnica Descrittiva delle attività di caratterizzazione condotte e intervento di messa in sicurezza d'emergenza” - FWIENV - gennaio 2005;
- “Relazione conclusiva sulle attività di messa in sicurezza – Area di primo intervento N° 6” - FWIENV - luglio 2005;
- “Relazione conclusiva sulle attività di messa in sicurezza – Area di primo intervento N° 7” - FWIENV - luglio 2005;
- Verbale della Conferenza dei Servizi Decisoria, ex art. 14, comma 2, della legge n° 241/90, del 23 aprile 2004;
- Verbali delle Riunioni del 18.11.04, 22.12.04, 15.02.05, 04.04.05 e 13.04.05 svoltesi c/o ARPAT Livorno per definire il posizionamento dei sondaggi integrativi nelle aree oggetto di caratterizzazione.

## 4. INQUADRAMENTO DEL SITO

### 4.1 Localizzazione dell'insediamento produttivo

L'insediamento produttivo sorge nella zona industriale (Località Stagno), nell'area di confine tra i comuni di Livorno e Collesalvetti, ai limiti dell'area portuale di Livorno.

Nell'Allegato 1a è riportata la corografia del sito, con la suddivisione delle diverse proprietà, in cui sono ubicati:

- Raffineria di Livorno, suddivisa in aree interne ed aree di pertinenza esterna (Darsena Ugione, Nuova Darsena Petroli ed il Tracciato degli oleodotti che collegano la Raffineria alle Darsene),
- Stabilimento STAP,
- Stabilimento EniPower.

Di seguito si riporta la tabella riportante la suddivisione del Sito in aree omogenee.

**Tabella 4.1: Suddivisione delle Aree omogenee**

SIGLA AREA	DESCRIZIONE AREA	SUPERFICIE (mq)
<b>ENI S.P.A. DIV. R&amp;M - RAFFINERIA DI LIVORNO – Aree interne allo stabilimento</b>		
<b>A</b>	UFFICI	33.000
<b>B</b>	MAGAZZINI	104.000
<b>C</b>	PIAZZALI E PARCHEGGI	75.500
<b>D</b>	AREA DI ESPANSIONE SUD	223.500
<b>E</b>	AREA DI ESPANSIONE OVEST	36.730
<b>F</b>	AREA BONIFICATA	13.500
<b>G</b>	SERBATOI	723.220
<b>H</b>	PENSILINE	28.500
<b>I</b>	IMPIANTI	151.500
<b>It1</b>	PRODUZIONE E STOCCAGGIO	25.000
<b>It2</b>	UFFICI E MAGAZZINI	20.000
<b>L</b>	TRATTAMENTO ACQUE EFFLUENTI (TAE)	85.500
<b>ENI S.P.A. DIV. R&amp;M - RAFFINERIA DI LIVORNO – Aree di pertinenza esterna</b>		
<b>O</b>	TRACCIATO OLEODOTTI	Lungh. ca. 4.500 m, largh. ca. 6 m
<b>P</b>	DARSENSA UGIONE	25.210
<b>Q</b>	NUOVA DARSENSA PETROLI	20.379
<b>ENI S.P.A. DIV. R&amp;M – STAP - Aree interne allo stabilimento</b>		
<b>M</b>	STAP	103.500
<b>ENIPOWER S.P.A. - STABILIMENTO DI LIVORNO - Aree interne allo stabilimento</b>		
<b>N</b>	CENTRALE TERMOELETTRICA	26.000
<b>N<sub>G</sub></b>	SOTTOSTAZIONE ELETTRICA	4.700
<b>N<sub>L</sub></b>	TRATTAMENTO ACQUE AFFLUENTI (TAA)	8.000

L'area complessiva degli insediamenti produttivi e delle aree esterne è pari a circa 1.700.000 m<sup>2</sup> (esclusa la fascia degli oleodotti della lunghezza di circa 4,5 km e larghezza circa 6 m).

Il Torrente Ugione delimita il confine sud. Sempre a sud sono presenti ulteriori aree industriali.

Le linee ferroviarie Firenze-Livorno e Livorno-Collesalveti (dismessa) ne delimitano rispettivamente i confini ovest e nord-ovest. Ad ovest è altresì presente a pochi metri dal perimetro dell'insediamento un canale di scarico (Antifosso Acque Chiare)

Ad est l'insediamento confina con la S.S. n°1 – Aurelia - oltre la quale sono presenti alcune aree residenziali (Villaggio Emilio) ed industriali (capannoni e officine di vario genere).

Nell'Allegato 1b viene riportata una planimetria dettagliata delle aree omogenee comprese nello stabilimento, mentre, negli Allegati 1c – 1d, sono riportate le planimetrie generali delle aree esterne (Darsena Ugione, Nuova Darsena Petroli, tracciato degli oleodotti).

#### **4.2 Inquadramento geologico e idrogeologico dell'area**

La pianura di Livorno prende origine da varie formazioni quaternarie, visibili nella zona circostante la città, comprese tra la foce del Calambrone ed i monti Livornesi, depositate nel tempo su formazioni pleistoceniche e in prossimità dell'alloctono ligure. In particolare, il territorio rivela sei ordini di terrazzi, uno per ogni fase di deposizione, con alla base sedimenti marini e più in alto sedimenti di colmamento, di spessore modesto e di varia origine.

La parte più recente è la zona di Ponte Ugione (Darsena Ugione), costituita da sedimenti marini depositatisi in un antico golfo esistito in tempi protostorici ed etrusco-romani, cui si sono sovrapposti materiali eolici e palustri.

La loro permeabilità (medio-bassa) è molto variabile arealmente perché dipende dalla percentuale di argilla nelle sabbie oppure dalla minore o maggiore abbondanza di intercalazioni e lenti argillose, comunque è sempre sufficiente ad albergare una falda freatica abbastanza ben sviluppata che si estende in equilibrio con il cuneo salino.



L'estensione del cuneo salino è probabilmente variabile stagionalmente in relazione ai rapporti tra il cuneo di ingressione dell'acqua marina e la falda.

Con l'intervento dell'uomo, la zona ha cambiato aspetto e morfologia per le numerose attività dovute all'insediamento della zona portuale e industriale.

#### 4.2.1 *Inquadramento geologico del sito*

L'area di Raffineria è ubicata su un'area di sedimentazione alluvionale recente, tra il mare, il Torrente Ugione e la foce dell'Arno, il cui substrato è costituito da alluvioni recenti eterogenee (sabbie fini, limose, limi argillosi ecc.) con localizzate lenti di limo ed argilla e depositi torbosi segnalanti fasi di impaludamento e di rallentamento nella deposizione.

Nel *Piano della Caratterizzazione D.M. 471/99'*, rev. 0, - FWENVI - ottobre 2003 sono riportate due sezioni litologiche interpretative con la relativa traccia sulla planimetria di stabilimento, risultato di una precedente campagna d'indagine geognostica (1994) nella quale sono stati eseguiti 13 sondaggi. Dall'esame delle sezioni si evidenzia la struttura dell'acquifero caratterizzato dalla presenza di terreni sabbiosi con lenti limoso-argillose, che presentano una discreta continuità soprattutto nell'area di stoccaggio serbatoi.

Le indagini geognostiche eseguite tra i mesi di luglio 2004 e aprile 2005 hanno permesso di approfondire le conoscenze del substrato nelle aree oggetto del PdC.

Negli Allegati 2b – 2g sono riportate n° 6 sezioni litologiche in area di Raffineria le cui tracce sono riportate nella planimetria in Allegato 2a. Tali sezioni confermano la natura sedimentaria di tipo alluvionale e di ingressione marina tipica di zone costiere.

Dalle stratigrafie, riportate in Allegato 5b, e dalle sezioni litologiche si nota come in circa tutta l'area di Raffineria vi sia la presenza di uno strato di riporto costituito da ghiaia e sabbia di color grigio-nocciola compreso tra 0,5 e 2 metri di spessore.

Dalle sezioni ricostruite si rileva che, su buona parte dell'area di Raffineria, a profondità variabili tra 1 – 2 m da p.c., vi è la presenza di un orizzonte argilloso debolmente limoso.

Stratigraficamente, il substrato sottostante è costituito principalmente da sedimenti alluvionali intercalati tra loro, quali sabbie medio-fini di colore grigio e nocciola, sabbie limose e limi argillosi.

In molte delle stratigrafie si possono notare livelli centrimetrici – decimetrici di localizzati depositi torbosi che indicano fasi di impaludamento e di rallentamento nella deposizione, indicazione resa palese anche dalla toponomastica della località in cui risiede lo stabilimento produttivo.

Tutti i sondaggi geognostici eseguiti a profondità superiore ai 10 metri da p.c. mostrano uno strato impermeabile costituito da argilla limosa, molto consistente, a partire dalle profondità di -9 – -13 m s.l.m. per uno spessore compreso tra 1,5 m (PD01) – 7,5 m (PG03).

La natura impermeabile delle argille e il loro spessore garantiscono una buona separazione tra la falda freatica superficiale ed il corpo idrico confinato sottostante, dimostrato anche dall'instaurarsi di condizioni piezometriche differenti.

In alcuni dei piezometri profondi si è riscontrata la presenza di ulteriori orizzonti argillosi ,più profondi, dello spessore fino a 4 metri.

A profondità maggiori di -20 m s.l.m. si evidenziano orizzonti metrici (fino a 5 – 6 metri) di ghiaie poligeniche eterometriche eterogenee di dimensioni medie di 1 cm con ciottoli sparsi di massimo 6-7 cm in discreta matrice sabbiosa.

Dalle stratigrafie dei sondaggi eseguiti in Area di espansione Sud (area D) si rinvencono strati di riporto rappresentato talvolta da ghiaia e sabbia, talvolta da terreno di cava sino alla profondità medie rispettivamente di circa 1 m e 0,6 m da p.c. Al di sotto di tali riporti

si trovano melme inertizzate (1,5 da p.c.) passanti poi ad argille limose. In particolare, si possono distinguere due differenti fasce: una Nord-Centrale, dove si trova uno spessore di materiale di riporto sempre inferiore al metro che copre il sottostante inertizzato; ed una fascia meridionale, in cui non vi è la presenza di melme inertizzate, dove il materiale di riporto arriva fino a 1,80 m e poi passa alle argille limose.

Questa variazione laterale di spessori è dovuta all'originaria morfologia dell'area, che in passato è stata riempita, in accordo all'autorizzazione della Provincia del 12 giugno 1990, Prot. n° 19961, con i terreni di riporto e inertizzati per livellarla con la quota della Raffineria ed utilizzarla successivamente come parcheggio.

Dalla stratigrafia del piezometro profondo in quest'area si può notare come l'orizzonte argilloso separante le due falde sia presente a partire dalla profondità di -11,5 m s.l.m. al di sotto del quale si hanno alternanze di limo sabbioso – argille e sabbie medio fini per giungere, alla profondità di circa -24 m s.l.m., alle ghiaie poligeniche ospitanti l'acquifero profondo.

#### 4.2.2 *Inquadramento idrogeologico del sito*

Nei mesi di maggio e giugno 2005 è stata eseguita la misura dei livelli di soggiacenza di tutti i piezometri, esistenti e di nuova realizzazione, sulla base dei quali è stato ricostruito l'andamento piezometrico della falda superficiale e della falda confinata mediante interpolazione (algoritmo: Kriging) dei dati piezometrici puntuali (vedi Allegati 1f e 1g). Sono stati inoltre rilevati i livelli nei corpi idrici di maggiore interesse (canale Scolmatore del fiume Arno ubicato a nord e torrente Ugione ubicato a sud del sito), circostanti la Raffineria, al fine di delineare le modalità di interazione tra acque sotterranee e superficiali.

La piezometria della falda superficiale risulta caratterizzata da un gradiente idraulico variabile da zona a zona e generalmente inferiore a 0,15%. Da un'analisi delle possibili

direzioni di flusso emerge la tendenza delle acque di falda a convergere nel settore centrale del sito dove si riscontra una depressione piezometrica che si estende su buona parte del sito raggiungendo quote assolute di  $-0.5$  m s.l.m. in corrispondenza di PZI.

Il livello del canale Scolmatore risulta pari a  $0,043$  m s.l.m con un livello del mare pari a  $-0.085$  m s.l.m. misurato in prossimità della Darsena Ugione. Il livello del torrente Ugione rilevato in n. 3 punti risulta compreso tra  $0,96$  m s.l.m. all'altezza del Ponte Ugione e  $-0.085$  m s.l.m. in prossimità della Darsena Ugione. La ricostruzione effettuata mette in evidenza la possibilità di una alimentazione di acque dal Torrente Ugione alla falda in particolare nel tratto compreso tra PC02 e PC03 dove il livello del canale risulta prossimo a  $1$  m s.l.m. Si evidenzia inoltre un basso piezometrico in corrispondenza del Fossetto del Capannone ad ovest del sito.

La carta piezometrica relativa alla falda confinata, rilevata a maggio 2005, mostra la direzione di flusso prevalente da est verso ovest. Il livello piezometrico risulta generalmente superiore a quello della falda freatica superficiale, dimostrandone la separazione idraulica.

In zona Darsena Ugione sono stati rilevati i livelli di falda di n° 3 piezometri. I livelli risultano confrontabili con quelli rilevati in area di Raffineria confermando i modesti gradienti idraulici in gioco e quindi la scarsa mobilità della falda.

Al fine di determinare i parametri caratteristici dell'acquifero sono stati realizzati alcuni Test idraulici (vedi successivo Capitolo 5.6).

Le prove Lefranc eseguite durante l'esecuzione dei sondaggi riportano un valore medio di  $K$  pari a  $1,86 \cdot 10^{-6}$  m/s nelle prove realizzate tra 2 e 3 m da p.c. sino a  $3,45 \cdot 10^{-7}$  m/s in quelle tra 9 e 11 m da p.c..

Relativamente all'acquifero superficiale, gli Slug test mostrano un valore medio di K pari a  $1 \cdot 10^{-5}$  m/s (dev.st.  $\approx 1,22 \cdot 10^{-5}$ ) mentre per l'acquifero profondo un valore medio di K pari a  $4,2 \cdot 10^{-5}$  m/s.

Dai risultati delle prove di pompaggio a gradini di portata, che utilizzano le variazioni del carico piezometrico in funzione del tempo, si riscontra, relativamente all'acquifero superficiale, un valore medio di K pari a  $5,96 \cdot 10^{-5}$  m/s (dev.st.  $\approx 9,83 \cdot 10^{-5}$ ) mentre per l'acquifero profondo un valore medio di K pari a  $5,37 \cdot 10^{-4}$  m/s.

La prova di pompaggio a portata costante eseguita nel piezometro della falda superficiale PE02 dà valori stimati di  $10^{-5}$  m/s, risultato confrontabile con quello ottenuto mediante l'esecuzione del test a gradini di portata effettuato nel medesimo piezometro.

Il settore est risulta caratterizzato da valori di K più elevati rispetto al resto dello stabilimento. Le distribuzioni della conducibilità idraulica della falda superficiale ricavate attraverso gli Slug test e le Prove di pompaggio e gradini di portata sono riportate in Allegato 5a.

## 5. DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ DI INDAGINE

L'esecuzione delle attività di campo e di laboratorio previste nel Piano di caratterizzazione sono state finalizzate a:

- localizzare e definire in dettaglio le eventuali presenze d'inquinamento;
- definire l'eventuale estensione ed il livello d'inquinamento nelle matrici ambientali suolo ed acque sotterranee;
- definire il modello concettuale del sito;
- identificare e delineare le possibili vie di migrazione degli eventuali inquinanti nonché i possibile bersagli.

Come previsto dal PdC approvato le attività di indagini sono state eseguite seguendo due successive fasi:

- la prima fase della caratterizzazione in cui sono stati realizzati l'85% dei sondaggi previsti;
- la seconda fase in cui sono stati realizzati i 100 sondaggi rimanenti nelle aree ove, in base ai risultati emersi nel corso della prima fase di cui sopra, fosse risultato necessario indagare ulteriormente.

Le indagini di cui sopra sono state svolte nel rispetto di quanto riportato all'interno del *"Protocollo operativo delle attività di caratterizzazione ambientale"*, rev. 0 - FWIENV - luglio 2004.

## 5.1 Indagini relative al Piano di Caratterizzazione Ambientale, Luglio 2004 – Giugno 2005

Le indagini, eseguite in conformità a quanto previsto nel Piano della Caratterizzazione, alle successive integrazioni a alle prescrizioni della CdS del 23/04/04 e con le modalità operative previste nel Protocollo operativo di indagine, sono state così articolate:

- esecuzione di n° 30 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, spinti sino alla profondità di 1 m da p.c. (eseguiti per la verifica dell'indagine mediante Soil gas survey);
- esecuzione di n° 598 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, spinti sino alla profondità di 4 m da p.c. ;
- esecuzione di n° 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, spinti sino alla profondità di 10 m da p.c. ;
- esecuzione di n° 21 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, spinti sino alla profondità di almeno 10 m da p.c. attrezzati a piezometro superficiale a integrazione della rete di monitoraggio esistente;
- esecuzione di n° 7 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, spinti sino alla profondità di 35 m da p.c. attrezzati a piezometro profondo;
- esecuzione di n° 90 Soil gas survey alla profondità approssimativa di 1 metro da p.c.
- prelievo di n° 1.328 campioni di suolo;
- esecuzione di analisi chimiche di laboratorio sui 1.328 campioni di terreno prelevati;
- esecuzione di analisi chimiche di laboratorio sui campioni di n° 190 Top soil prelevati;

- Allestimento a piezometro di monitoraggio da 4" di n° 28 sondaggi di cui sopra;
- Validazione della rete piezometrica di monitoraggio preesistente;
- prelievo di campioni di acqua di falda freatica dai n° 21 piezometri di nuova realizzazione e dai n° 65 della preesistente rete di monitoraggio;
- prelievo di campioni di acqua di falda confinata prelevati dai n° 7 piezometri profondi di nuova realizzazione;
- esecuzione di analisi chimiche di laboratorio sui n° 93 campioni di acqua sotterranea prelevati;
- esecuzione di test idraulici sulla falda freatica e sulla falda confinata;
- rilievo freaticometrico su tutti i piezometri della rete di monitoraggio;
- rilievo topografico piano altimetrico di tutti i sondaggi eseguiti e di tutti i piezometri della rete di monitoraggio.

Qui di seguito si riporta il numero di indagini eseguite per ciascuna area omogenea, suddivise per proprietà.

**Tabella 5.1: Sondaggi eseguiti per singola area omogenea (Raffineria di Livorno)**

SIGLA AREA	DESCRIZIONE AREA	SUPERFICIE (mq)	PIEZOMETRI REALIZZATI (sup.)	SONDAGGI REALIZZATI (sup.)
A	UFFICI	33.000	2 (1 prof.)	13
B	MAGAZZINI	104.000	1	42
C	PIAZZALI E PARCHEGGI	75.500	3 (1 prof.)	39



D	AREA DI ESPANSIONE SUD	223.500	1 (prof.)	37 (1 prof.)
E	AREA DI ESPANSIONE OVEST	36.730	2	14
F	AREA BONIFICATA	13.500	0	8
G	SERBATOI	723.220	3 (2 prof.)	228 (1 prof.)
H	PENSILINE	28.500	1	17
I	IMPIANTI	151.500	2	66
L	TRATTAMENTO ACQUE EFFLUENTI (TAE)	85.500	0	31
It1	PRODUZIONE E STOCCAGGIO	25.000	0	6 (1 prof.)
It2	UFFICI E MAGAZZINI	20.000	1	6

Sondaggio superficiale: 4 m da p.c.

Sondaggio profondo: 10 m da p.c.

Piezometro superficiale: 10 m da p.c.

Piezometro profondo: 35 m da p.c.

**Tabella 5.2: Sondaggi eseguiti per singola area omogenea (Darsene)**

SIGLA AREA	DESCRIZIONE AREA	SUPERFICIE (mq)	PIEZOMETRI REALIZZATI (sup.)	SONDAGGI REALIZZATI (sup.)
P	DARSENA UGIONE	25.210	3	15
Q	NUOVA DARSENA PETROLI	20.379	4	22

**Tabella 5.3: Sondaggi eseguiti per singola area omogenea (Tracciato oleodotti)**

SIGLA AREA	DESCRIZIONE AREA	SUPERFICIE (mq)	PIEZOMETRI REALIZZATI (sup.)	SONDAGGI REALIZZATI (sup.)
O	TRACCIATO OLEODOTTI	Lungh. ca. 4.500 m	g*	41

\* In comune con altre aree omogenee

**Tabella 5.4: Sondaggi eseguiti per singola area omogenea (STAP)**

SIGLA AREA	DESCRIZIONE AREA	SUPERFICIE (mq)	PIEZOMETRI REALIZZATI (sup.)	SONDAGGI REALIZZATI (sup.)
M	STAP	103.500	2 (1 prof.)	48

**Tabella 5.5: Sondaggi eseguiti per singola area omogenea (EniPower)**

SIGLA AREA	DESCRIZIONE AREA	SUPERFICIE (mq)	PIEZOMETRI REALIZZATI (sup.)	SONDAGGI REALIZZATI (sup.)
N	CENTRALE TERMOELETTRICA	26.000	2	13
N <sub>G</sub>	SOTTOSTAZIONE ELETTRICA	4.700	1 (prof.)	4
N <sub>L</sub>	TRATTAMENTO ACQUE AFFLUENTI (TAA)	8.000	0	9

### 5.1.1 Campagna di sondaggi integrativi (seconda fase della Caratterizzazione)

Così come previsto dal PdC, nella seconda fase della Caratterizzazione sono stati realizzati 100 sondaggi la cui ubicazione è stata decisa nelle aree ove, in base ai risultati emersi nel corso della prima fase, fosse risultato necessario un più approfondito livello di conoscenza della qualità del sottosuolo.

Il criterio di ubicazione di tali sondaggi è stato principalmente quello di verificare la presenza di sostanze in alcuni punti, delimitandone l'area contaminata, e di infittire aree sprovviste di punti.

Ad esempio, nel caso in cui è stata riscontrata la presenza di un analita eccedente i limiti normativi in un singolo sondaggio delimitato da sondaggi conformi, sono stati posizionati tre ulteriori sondaggi a 120° intorno al punto eccedente con la finalità di delimitare l'area eventualmente contaminata.

In aree in cui preliminarmente non sono ricaduti un numero sufficiente di sondaggi tali da caratterizzare al meglio la matrice suolo, sono stati aggiunti alcuni punti per infittire tali zone.

Dei 100 sondaggi integrativi previsti n° 30 sono stati posizionati lungo il Tracciato degli oleodotti, n° 65 all'interno dello Stabilimento di Raffineria e n° 5 nelle due darsene esterne.

In tutti i campioni dei sondaggi integrativi è stato ricercato il set analitico previsto per le aree omogenee a cui appartiene il sondaggio da delimitare o l'area da infittire.

## 5.2 Modalità operative di esecuzione delle indagini

### 5.2.1 Esecuzione e caratteristiche dei sondaggi geognostici

Tutti i sondaggi geognostici sono stati realizzati utilizzando il metodo di perforazione a rotazione senza l'ausilio di fluidi di perforazione. Per la loro terebrazione è stato utilizzato un carotiere semplice con diametro est. di 101 mm e dei tubi di rivestimento con diametro est. pari a 152 mm e 194 mm nei casi in cui si dovesse procedere all'installazione del piezometro.

Durante la realizzazione dei sondaggi si è proceduto ad effettuare un trattamento di decontaminazione delle apparecchiature utilizzando una macchina Pulivapor.

Per ciascun sondaggio eseguito è stata redatta la relativa stratigrafia costituita da:

- Descrizione stratigrafica:
  - tipo di terreno (granulometria e grado di arrotondamento dei clasti);
  - compattezza (consistenza o addensamento);
  - alterazione;
  - colore;
  - struttura;
  - particolarità.
- Registrazioni durante la perforazione
  - percentuale di recupero;
  - quota del fondo foro;

- data di esecuzione della perforazione.

Le stratigrafie, gli schemi costruttivi dei piezometri e la documentazione fotografica relativa ai sondaggi realizzati sono riportati negli Allegato 5b e 5c.

Durante la realizzazione delle perforazioni dei sondaggi profondi da attrezzare a piezometri da 35 m da p.c. si è dovuto procedere tenendo conto delle precauzioni necessarie ad evitare intercomunicazioni e, dunque, eventuali contaminazioni fra la falda freatica superficiale e quella sottostante (così come comunicato ad ARPAT Livorno a mezzo fax in data 13 luglio 2004, rif: FWIENV n.1-BH-209/L-02A)

I piezometri profondi sono stati eseguiti quindi in due successive fasi, provvedendo così al completo isolamento dei livelli acquiferi superficiali che non si intendevano captare.

Durante la prima fase, si è proceduto alla esecuzione del carotaggio continuo fino al raggiungimento dello strato impermeabile, seguito dall'installazione fino a tale profondità (indicativamente intorno ai 12-15 m da p.c.) di una tubazione cieca del diametro esterno di 255 mm. Si è proceduto, quindi, alla cementazione del preforo così creato con una miscela ternaria, acqua cemento bentonite, iniettata a partire dal fondo.

Una volta avvenuto il consolidamento della cementazione, si è proceduto prima alla perforazione a distruzione di nucleo della cementazione interna al preforo con un rivestimento del diametro di 194 mm, e poi, successivamente, si è proseguito nella perforazione a carotaggio continuo sino al raggiungimento della quota di 35 m da p.c.

Così come concordato con ARPAT e previsto da PdC e dalle Integrazioni al PdC dell'aprile 2004, le profondità dei sondaggi geognostici realizzati sono:

- n° 30 sondaggi a 1 m da p.c.;
- n° 598 sondaggi a 4 m da p.c.;

- n° 3 sondaggi a 10 m da p.c.;
- n° 2 sondaggi interrotti a 15 – 16,5 m da p.c. (nel corso della terebrazione si è riscontrata la presenza di uno strato argilloso, pertanto, i 2 sondaggi inizialmente previsti a piezometro profondo sono stati interrotti e successivamente rimpiazzati con ulteriori 2 piezometri eseguiti con modalità tale da evitare intercomunicazioni tra la falda superficiale e quella profonda);
- n° 19 sondaggi a 10 m da p.c. attrezzati a piezometro superficiale;
- n° 7 sondaggi da 35 m da p.c. attrezzati a piezometro profondo.

### 5.2.2 *Installazione e caratteristiche dei piezometri*

I piezometri sono stati installati con tubi piezometrici di tipo Norton in PVC di diametro esterno di 4" costituiti da una serie di spezzoni ciechi e filtranti di varia lunghezza, giuntati tra loro con manicotti di giunzione filettati maschio-femmina. In nessun caso sono stati usati mastici o collanti. La parte filtrante è fenestrata orizzontalmente, con micro fessurazioni dello spessore di 0,5 mm.

L'installazione è avvenuta seguendo le seguenti fasi:

- posa di uno spessore di 0,5 m di ghiaietto siliceo calibrato ( $\varnothing = 1 \div 3$  mm);
- discesa a quota del tubo piezometrico precedentemente assemblato;
- posa di ghiaietto siliceo calibrato ( $\varnothing = 1 \div 3$  mm) da fondo foro fino a 0,20 m al di sopra del tratto di tubo piezometrico fenestrato, ritirando man mano il rivestimento, senza l'ausilio della rotazione;

- posa, al di sopra del tratto fenestrato, di un tampone impermeabile costituito da bentonite in pellets dello spessore di circa 0,5 metri;
- riempimento del foro al di sopra della bentonite con una miscela plastica acqua-cemento-bentonite in polvere;
- sistemazione e protezione dell'estremità del piezometro con la posa di un tappo a pressione, e la messa in opera di un chiusino di protezione in cls precompresso di dimensioni 30x30x30 in ghisa carrabile.

Nella fase di realizzazione dei nuovi piezometri di monitoraggio sono stati installati (vedi successiva tabella):

- n° 21 piezometri superficiali;
- n° 7 piezometri profondi.

**Tabella 5.6: Caratteristiche costruttive dei piezometri di nuova realizzazione**

Sigla piezometro	Profondità (m da p.c.)	Fenestratura (m da p.c.)	
		Da	A
PA01	10	0,50	10
PB01	10	0,50	10
PC01	10	0,50	10
PC03	13	1	13
PE01	10	1	10
PE02	10	1	10
PG02	13	0,50	13

PINT2	10	1	10
PI01	10	0,50	10
PI02	10	0,50	10
PIT01	10	0,50	10
PM02	10	0,50	10
PN01	10	1	10
PN02	10	1	10
PP01	10	0,50	10
PP02	10	0,50	10
PP03	10	0,50	10
PQ01	10	1	10
PQ02	10	1	10
PQ03	10	1	10
PQ04	10	1	10
PG01	35	14	35
PC02	33,50	24,50	30,50
PNG01	27	18	24
PA02	35	31	34
PG03	33	24	30
PM01	27	15	25,50
PD01	34,50	19,50	31,50

Contestualmente alla nuova rete di monitoraggio, è stata svolta in tutti i piezometri della preesistente rete una verifica dell'efficienza degli stessi. Quei piezometri che sono risultati essere non efficienti sono stati sottoposti ad un'operazione di pulizia tramite airlift utilizzando un compressore oil free.

In n° 13 piezometri della preesistente rete (PZ117, PZ115, PZ112, PZ23, PZ40, PZ42, PZ50, PZB, PZC, PZI, PZL, PZH, PZF) l'operazione di airlift non ha dato i risultati voluti. Per ripristinare le caratteristiche di efficienza del piezometro sono stati, pertanto, realizzati ex novo, nello stesso punto, tramite perforazione a distruzione di nucleo.



### 5.2.3 Campagna di Soil Gas Survey

L'area oggetto dell'investigazione mediante Soil Gas Survey è costituita da una fascia di terreno occupata da n° 11 oleodotti, che collegano la Raffineria con le darsene portuali per la movimentazione di prodotti petroliferi via mare, della lunghezza complessiva di circa 4,5 km e larghezza indicativa di 6 m.

L'indagine è consistita nell'esecuzione di n° 90 fori (SGS 1 - SGS 90) per il prelievo e analisi mediante strumentazione portatile di gas interstiziali a profondità di 1 metro dal piano campagna.

Le attività di caratterizzazione ambientale dei gas interstiziali nel sottosuolo sono state finalizzate a definire lo stato di concentrazione dei composti organici volatili presenti, in particolare:

- sostanze organiche volatili, VOC;
- anidride carbonica, CO<sub>2</sub>;
- ossigeno, O<sub>2</sub>;
- metano, CH<sub>4</sub>.

I principali strumenti utilizzati per le attività di perforazione e prelievo del gas interstiziale sono stati:

- dispositivo di perforazione manuale a roto-percussione;
- MultiRAE IR PGM-50 Multi Gas, in grado di analizzare la concentrazione di VOC, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>;

- Vacuometro Geoprobe®;

La campagna di Soil Gas Survey è stata eseguita attraverso l'esecuzione della perforazione, il posizionamento dei probe di campionamento dei gas interstiziali nel punto stabilito, lo spurgo del volume d'aria del probe e l'esecuzione della lettura in continuo.

### 5.3 Modalità di campionamento dei terreni

Nel corso delle attività di indagine svolte, al fine di determinare lo stato qualitativo del sottosuolo e la distribuzione di una presunta contaminazione, in conformità a quanto proposto dal PdC, alle successive integrazioni e alle prescrizioni della CdS del 23/04/04, sono stati prelevati i campioni di terreno secondo i criteri e le indicazioni descritte nel Protocollo operativo delle Attività di Caratterizzazione Ambientale.

In particolare, il campionamento del suolo è stato eseguito in ogni sondaggio con i seguenti prelievi di terreno:

- n° 1 campione (C01) di terreno alla profondità indicativa compresa tra circa 1 e 2 metri da p.c. (Terreno insaturo e di oscillazione della falda);
- n°1 campione (C02) di terreno alla profondità indicativa compresa tra circa 3 e 4 metri da p.c. (Terreno saturo).

Nel caso di perforazioni spinte alla profondità di 10 m, per la realizzazione di piezometri nella falda freatica, oltre ai campioni raccolti con le modalità sopra descritte, è stato raccolto:

- n° 1 (C03) campione a fondo foro tra 9 – 10 m da p.c.;

Mentre, nel caso di perforazioni spinte alla profondità di oltre 35 m, oltre ai campioni (C01 e C02) raccolti con le modalità sopra descritte, è stato raccolto:

- n° 1 campione (C03) rappresentativo di 1 metro a profondità comprese tra circa 14 m e 16,5 m da p.c., in funzione del tratto di carota ritenuta più rappresentativa;
- n° 1 campione (C04) rappresentativo di 1 metro a profondità comprese tra circa 23 m e 32 m da p.c., in funzione del tratto di carota ritenuta più rappresentativa.

Come previsto dal PdC e descritto nel Protocollo operativo, e in conformità con quanto richiesto nel Verbale deliberatorio del Ministero dell'Ambiente, sono stati prelevati i seguenti campioni di Top soil (0,15 – 0,30 m da p.c.):

- in tutte le aree omogenee sul 10% dei punti di indagine campioni per le analisi delle diossine e dell'amianto (in seguito CD e CA);
- in tutte le aree omogenee nei sondaggi in prossimità delle cabine elettriche, ed in tutti i sondaggi SN in area N, campioni per l'analisi dei Pcb (in seguito CPCB);

Durante l'esecuzione dei sondaggi, ove vi fosse la presenza di melme inertizzate, presente in alcuni punti dell'Area D generalmente alle profondità di 0,6 – 1,5 m da p.c., si è proceduto al prelievo del campione per l'esecuzione del Test di cessione ai sensi del D.M. 05/02/98, All. 3 (in seguito CTC). L'eluato è stato confrontato, come prescritto dal Verbale della CdS del 23 aprile 2004, con i limiti dell'Allegato 1 Tabella "acque sotterranee" del D.M. 471/99.

I campioni C01-C04 e CTC sono stati riposti in contenitori da 720 ml, i campioni di Top soil CA, CD e CPCB in contenitori da 300 ml (vasetti di "tipo Bormioli" con tappo a chiusura ermetica).

In particolare, per ciascun campione di terreno sono stati prelevati n° 3 aliquote:

- n° 1 inviata al Laboratorio per le analisi da condurre ad opera dei soggetti privati;

- n° 1 inviata al Laboratorio e conservata a cura di ENI/FW (per un periodo di circa 3 mesi in cella frigorifera) per eventuali controanalisi;
- n° 1 per le analisi di verifica da parte di ARPAT Livorno. ARPAT, sulla base del programma settimanale dei sondaggi previsti fornito da FWIENV, ha scelto nel 10% dei campioni totali la propria aliquota da sottoporre ad analisi.

Le modalità di campionamento sono state eseguite in conformità a quanto descritto nel Protocollo operativo delle Attività di Caratterizzazione Ambientale.

#### 5.4 Modalità di campionamento delle acque sotterranee

Nel corso delle attività di caratterizzazione, al fine di delineare il quadro idrochimico delle acque di falda, sono stati prelevati campioni d'acqua dai piezometri preesistenti e da quelli di nuova realizzazione.

Per il campionamento delle acque sotterranee, effettuato per mezzo di pompa sommersa, è stata seguita la seguente procedura:

- misurazione del livello statico della falda ed individuazione dell'eventuale presenza di prodotto surnatante tramite sonda ad interfaccia;
- misurazione della profondità del piezometro;
- spurgo del piezometro con portate di circa 6 l/min e misurazione in continuo, mediante sonda multiparametrica, dei parametri chimico - fisici (temperatura, pH, potenziale redox, conducibilità, torbidità, riportati in Allegato 5d);
- avvinamento preliminare dei contenitori secondo la prassi di buona tecnica di laboratorio;
- raggiunta la stabilizzazione dei parametri chimico-fisici e svuotato un volume d'acqua pari a 3-5 volte il volume d'acqua nel piezometro, è stato eseguito il

campionamento dinamico dell'acqua, riducendo la portata della pompa a circa 4 l/min;

Nel caso di pozzi poco produttivi si è utilizzata una portata inferiore, al fine di evitare di spurgare fino al prosciugamento del pozzo. Ove necessario si è proceduto con tecnica Low flow, così come descritto nel Protocollo operativo.

Ogni campione di acqua è stato prelevato nelle seguenti aliquote:

- n° 1 inviata al Laboratorio per le analisi da condurre ad opera dei soggetti privati;
- n° 1, per le analisi di verifica da parte di ARPAT (unicamente sul 10% dei campioni prelevati). Il prelievo di tale aliquota è stata effettuata da ARPAT sulla base del programma settimanale dei campionamenti previsti fornito da FWIENV.

Per ogni piezometro sono stati prelevati un numero di campioni in accordo a quanto indicato nel Protocollo operativo di indagine.

In quei piezometri in cui è stata rilevata la presenza di prodotto in fase libera, non è stata prelevata l'acqua di falda, bensì il prodotto surnatante per la successiva analisi merceologica.

## 5.5 Esecuzione dei rilievi freaticometrici

Nei mesi di maggio e giugno 2005 è stata eseguita la misura dei livelli di soggiacenza di tutti i piezometri, esistenti e di nuova realizzazione.

Nella medesima battuta freaticometrica sono stati, inoltre, rilevati i livelli nei corpi idrici di maggiore interesse (canale Scolmatore del fiume Arno ubicato a nord e torrente Unione ubicato a sud del sito), circostanti la Raffineria.

La misura del livello freaticometrico all'interno del piezometro è stata realizzata utilizzando una sonda ad interfaccia in grado di rilevare spessori minimi di idrocarburi in fase libera

superiori a 2 mm, tutte le misure di livello eseguite, espresse in centimetri, sono state riferite a bocca pozzo.

I dati acquisiti sono stati utilizzati, successivamente per la ricostruzione della carta delle freatiche in metri sul livello medio del mare.

Al termine delle attività di caratterizzazione, la rete di monitoraggio delle acque sotterranee presente è costituita complessivamente da:

#### Aree interne allo Stabilimento Raffineria – Enipower - STAP

- n° 65 piezometri nella falda freatica superficiale costituenti la preesistente rete di monitoraggio, profondità circa 10 m da p.c. (di cui 3 piezometri esterni al confine di stabilimento ma in prossimità dello stesso e di proprietà Eni);
- n° 14 piezometri di nuova realizzazione nella falda freatica superficiale, ad integrazione della rete di monitoraggio preesistente, profondità tra 10 e 13 m da p.c.;
- n° 7 piezometri di nuova realizzazione in falda confinata, profondità tra 27 e 35 m da p.c.

#### Darsena Ugione (Raffineria di Livorno)

- n° 3 piezometri di nuova realizzazione nella falda freatica superficiale, profondità 10 m da p.c.

#### Darsena Petroli (Raffineria di Livorno)

- n° 4 piezometri di nuova realizzazione, profondità 10 m da p.c.

In Allegato 5e si riporta la tabella di tutti i piezometri che costituiscono la rete di monitoraggio delle acque sotterranee presente nelle aree di Raffineria Livorno e Darsene Ugione e Petroli.

## 5.6 Test idraulici

Al fine di stimare i parametri idraulici (trasmissività e conducibilità idraulica) che caratterizzano la falda superficiale e confinata, sono stati condotti, n. 55 prove di permeabilità (n° 50 previste nel PdC) di cui n° 28 prove di permeabilità di tipo Lefranc e n° 27 Slug test. Inoltre, sono state eseguite n° 19 prove di emungimento (n° 17 previste nel PdC) di cui n° 18 a gradini di portata e n° 1 a portata costante. Le acque emunte durante l'esecuzione dei test sono state smaltite ai sensi del D.lgs 22/97.

In Tabella 5.7 si riporta l'elenco dei punti di esecuzione dei test distinguendo tra acquifero superficiale ed acquifero confinato.

**Tabella 5.7: Test idraulici condotti in corrispondenza della falda freatica e della falda confinata**

<i>Lefranc</i>	<i>Slug Test</i>	<i>Test a gradini di portata</i>	<i>Test a portata costante</i>
PC01 - eseguite 3 prove	PA02*	PD01*	PE02
PH01 - eseguite 3 prove	PNG01*	PG01*	
PP01	PC02*	PC02*	
PP02	PZ 42	PE02	
PQ02	PZ G	PA01	
PQ03	PE02	PZ F	
PQ04	PC01	PZ 114	
SB08	PZ F	PZ I	
SD08	PZ 118	PZ H	
SD18	PZ I	PZ L	
SG05	PZ H	PZ 43	
SG24	PZ L	PZ 40	
SG46	PZ 40	PZ A4	
SG72	PZ A4	PP01	
SG101	PC03	PQ03	
SG122	PZ M	PZ P1	
SG179	PZ 25	PZ M	
SG206	PE01	PZ E	
SI33	PZ D		
SL12	PZ 121		
SM34	PZ 41		
INT02 - eseguite 3 prove	PZ N1		
SQ11	PZ 104		
	PB01		
	PZ 50		
	PZ A1		
	PH01		

\*Piezometro di monitoraggio acquifero confinato



### 5.6.1 Prove Lefranc

In n° 28 fori di sondaggio (vedi Tabella 5.7) sono state eseguite prove di permeabilità del tipo Lefranc per la determinazione della conducibilità idraulica nell'intorno del foro.

Le prove sono state eseguite per immissione di acqua nel foro e sono state condotte a carico variabile (ad esclusione di una prova Lefranc a carico costante) con le seguenti modalità:

- 1) è stato misurato il livello della falda prima di eseguire la prova;
- 2) il rivestimento è stato calato per l'ultimo tratto, sottoposto alla prova, con minima velocità di rotazione ed è stato sollevato, dopo la realizzazione di una tasca filtrante, senza rotazione;
- 3) la lunghezza della tasca filtrante di ghiaia è stata almeno di 5 volte il diametro del rivestimento;
- 4) dal momento in cui si è sospesa l'immissione dell'acqua si è iniziato a misurarne il livello nel rivestimento ad intervalli di tempo prestabiliti, annotando ora, minuti e secondi di ciascuna lettura; le letture sono proseguite fino a che il dislivello dell'acqua è risultato inferiore ad 25% di quello all'inizio della prova e comunque per un tempo minimo di 1 ora.

I dati acquisiti nel corso delle prove Lefranc sono stati elaborati secondo la seguente formulazione per la stima del coefficiente di conducibilità idraulica (K):

$$K = \frac{(D/2)^2 p}{CFt} \ln \frac{h1}{h2}$$

dove: D = Diametro del foro (101 mm)

CF = fattore di forma

$h_1$  = altezza acqua a inizio prova (m)

$h_2$  = altezza acqua a fine prova (m)

Il calcolo del fattore di forma CF viene eseguito con la soluzione analitica indicata da Hvorslev (1951), scelta in base alla geometria della prova. In Allegato 5a si riportano i dati rilevati, l'elaborazione degli stessi con le relative curve ed i valori di permeabilità K.

In Tabella 5.8 vengono riportati i valori delle singole prove e i valori minimi, massimi e medi di K per le profondità di prova eseguite.

**Tabella 5.8: Valori di conducibilità idraulica nelle prove Lefranc eseguite**

K cm/sec	K m/sec	Sigla	Da m	a m
2,36E-04	2,36E-06	SC09/PC01	2,00	2,90
2,20E-05	2,20E-07	SC09/PC01	5,00	6,00
4,71E-05	4,71E-07	SC09/PC01	10,20	11,00
3,21E-04	3,21E-06	SH02/PH01	2,20	3,00
4,67E-05	4,67E-07	SH02/PH01	5,20	6,00
5,54E-05	5,54E-07	SH02/PH01	9,20	10,00
2,72E-05	2,72E-07	SP11/PP1	3,00	4,00
7,73E-06	7,73E-08	SP04/PP2	3,00	4,00
1,47E-05	1,47E-07	SQ15/PQ2	3,00	4,00
2,25E-04	2,25E-06	SQ17/PQ4	3,00	4,00
5,81E-06	5,81E-08	SB08	3,00	4,00
1,36E-07	1,36E-09	SD08	3,00	4,00
1,81E-06	1,81E-08	SD18	3,00	4,00
3,18E-05	3,18E-07	SG05	3,00	4,00
8,84E-07	8,84E-09	SG24	3,00	4,00
5,08E-05	5,08E-07	SG46	3,00	4,00
2,23E-06	2,23E-08	SG72	3,00	4,00
5,27E-06	5,27E-08	SG101	3,00	4,00
1,08E-06	1,08E-08	SG122	3,00	4,00
7,20E-07	7,20E-09	SG179	3,00	4,00
4,52E-07	4,52E-09	SG206	3,00	4,00
1,53E-06	1,53E-08	SI33	3,00	4,00
2,03E-06	2,03E-08	SL12	3,00	4,00
3,32E-05	3,32E-07	SM34	3,00	4,00
2,45E-06	2,45E-08	INT02	2,00	3,00
2,89E-06	2,89E-08	INT02	5,00	6,00
1,14E-06	1,14E-08	INT02	9,00	10,00
7,20E-02	7,20E-04	SQ11*	3,00	4,00

**Tra 2,00 e 3,00 m da p.c.**

K min. 2,45E-08 m/sec

K max 3,21E-06 m/sec

K medio 1,86E-06 m/sec

**Tra 3,00 e 4,00 m da p.c.**

K min. 1,36E-09 m/sec

K max 2,25E-06 m/sec

K medio 2,29E-07 m/sec

**Tra 5,00 e 6,00 m da p.c.**

K min. 2,89E-08 m/sec

K max 4,67E-07 m/sec

K medio 2,39E-07 m/sec

**Tra 9,00 e 11,00 m da p.c.**

K min. 1,14E-08 m/sec

K max 5,54E-07 m/sec

K medio 3,45E-07 m/sec

\* Prova eseguita a carico costante

È importante sottolineare che il tipo di prova effettuata tende a sottostimare i valori di permeabilità e fornisce indicazioni limitatamente all'intorno del punto di indagine.

### 5.6.2 Slug Test

In corrispondenza dei piezometri indicati in Tabella 5.7 sono stati eseguiti n° 27 Slug test secondo la seguente procedura:

- 1) misura da bocca pozzo, mediante freatimetro, della soggiacenza statica dell'acqua di falda;
- 2) immersione repentina e completa in falda di un corpo cilindrico di volume noto;
- 3) acquisizione mediante freatimetro, ad intervalli prestabiliti, del livello piezometrico fino a ristabilizzazione del livello statico iniziale (i.e. fino a riduzione di almeno il 90% del dislivello piezometrico generato al momento dell'immersione del corpo cilindrico).

I dati acquisiti sono stati elaborati mediante i metodi di analisi sviluppati da Hvorslev(1951) e Bouer-Rice (1976). Tali metodi, utilizzando i dati di variazione del carico piezometrico in funzione del tempo, registrati durante la prova, consentono di stimare i parametri idraulici dell'acquifero (coefficiente di conducibilità idraulica).

Nella seguente Tabella 5.9 si riportano i valori di conducibilità idraulica (K) stimati in corrispondenza dei singoli piezometri. Da un esame dei dati ottenuti si riscontra, relativamente all'acquifero superficiale, un valore medio di K pari a  $1 \cdot 10^{-5}$  m/s (dev.st =  $1,22 \cdot 10^{-5}$ ), mentre per l'acquifero profondo un valore medio di K pari a  $4.2 \cdot 10^{-5}$  m/s. Il settore est dello stabilimento risulta mediamente più permeabile. Anche in questo caso il tipo di prova effettuata tende a sottostimare i valori di permeabilità (ciò è confermato dai valori tendenzialmente più elevati ottenuti in corrispondenza dei medesimi piezometri mediante l'esecuzione dei test di pompaggio) e fornisce indicazioni limitatamente all'intorno del punto di indagine. In Allegato 5a si riportano i risultati grafici delle elaborazioni.

**Tabella 5.9: Risultati Slug test (valori di K in m/s)**

<i><b>Piezometro</b></i>	<i><b>Hvorslev</b></i>	<i><b>Bower &amp; Rice</b></i>	<i><b>Tipo piezometro</b></i>
<b>PA02</b>	9.36E-05	1.11E-04	Profondo
<b>PNG01</b>	2.95E-06	2.93E-06	Profondo
<b>PC02</b>	2.59E-05	1.84E-05	Profondo
<b>PZ 42</b>	2.47E-06	3.16E-06	Superficiale
<b>PZ G</b>	2.46E-06	3.24E-06	Superficiale
<b>PE02</b>	1.36E-05	1.28E-05	Superficiale
<b>PC01</b>	1.12E-05	1.45E-05	Superficiale
<b>PZ F</b>	4.61E-06	6.07E-06	Superficiale
<b>PZ 118</b>	1.49E-05	1.97E-05	Superficiale
<b>PZ I</b>	1.46E-06	1.92E-06	Superficiale
<b>PZ H</b>	5.92E-06	8.11E-06	Superficiale
<b>PZ L</b>	3.10E-06	4.07E-06	Superficiale
<b>PZ 40</b>	2.72E-06	3.76E-06	Superficiale
<b>PZ A4</b>	1.45E-06	1.94E-06	Superficiale
<b>PC03</b>	2.28E-05	3.37E-05	Superficiale
<b>PZ M</b>	4.09E-06	5.30E-06	Superficiale
<b>PZ 25</b>	3.35E-06	4.40E-06	Superficiale
<b>PE01</b>	4.19E-06	3.86E-06	Superficiale
<b>PZ D</b>	3.46E-06	4.20E-06	Superficiale
<b>PZ 121</b>	6.26E-06	8.10E-06	Superficiale
<b>PZ 41</b>	2.51E-06	3.17E-06	Superficiale
<b>PZ N1</b>	5.68E-06	7.21E-06	Superficiale
<b>PZ 104</b>	8.85E-06	1.20E-05	Superficiale
<b>PB01</b>	4.22E-05	5.60E-05	Superficiale
<b>PZ 50</b>	2.95E-05	4.37E-05	Superficiale
<b>PZ A1</b>	8.58E-06	1.07E-05	Superficiale
<b>PH01</b>	2.28E-05	1.78E-05	Superficiale

### 5.6.3 Prove idrauliche a gradini di portata

In corrispondenza dei piezometri indicati in Tabella 5.7 sono state eseguite n. 18 prove di pompaggio a gradini di portata. Ciascuna prova è stata effettuata secondo n. 4 gradini di portata successivi crescenti. Per l'esecuzione delle prove è stata inserita una pompa sommersa all'interno dei piezometri ed è stato rilevato mediante freatometro, secondo un intervallo temporale prestabilito, il livello di falda. Al termine della prova, dopo lo spegnimento della pompa nel pozzo di prova, sono state eseguite misure del livello in risalita, fino al ristabilirsi del livello iniziale con uno scarto del 10% rispetto all'abbassamento a fine pompaggio.

I dati acquisiti nel corso delle prove a gradini di portata sono stati elaborati mediante i metodi di analisi sviluppati da Cooper&Jacob (1946) e Theis (1976). Tali metodi, utilizzando i dati di variazione del carico piezometrico in funzione del tempo, registrati durante la prova, consentono stimare i parametri idraulici dell'acquifero (coefficiente di conducibilità idraulica e coefficiente di immagazzinamento qualora vengano utilizzati piezometri di monitoraggio degli abbassamenti oltre a quello in pompaggio).

Nella seguente Tabella 5.10 si riportano i valori di conducibilità idraulica (K) stimati in corrispondenza dei piezometri di cui sopra. Da un esame dei dati ottenuti si riscontra, relativamente all'acquifero superficiale, un valore medio di K pari a  $5.96 \cdot 10^{-5}$  m/s (dev.st =  $9.83 \cdot 10^{-5}$ ), mentre per l'acquifero profondo un valore medio di K pari a  $5.37 \cdot 10^{-4}$  m/s. In Figura 5.1 si riporta la distribuzione di conducibilità idraulica stimata per l'acquifero superficiale mediante l'esecuzione delle prove a gradini. Come si può osservare, analogamente a quanto desunto dagli Slug test, il settore est risulta caratterizzato dai valori di K più elevati. In Allegato 5a si riportano i risultati grafici delle elaborazioni.

**Tabella 5.10: Risultati prove a gradini di portata (valori di K in m/s)**

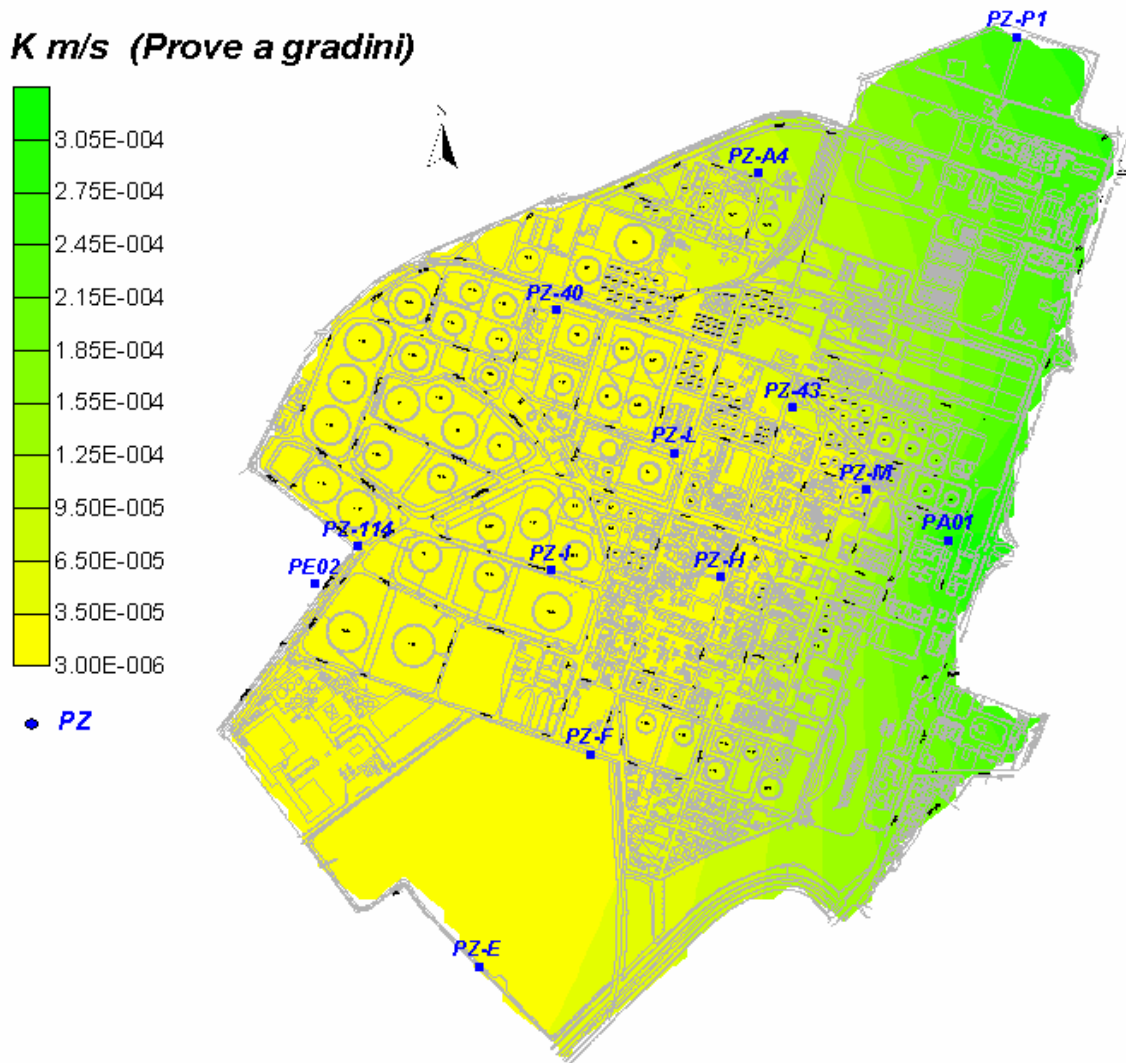
<i>ID</i>	<i>Cooper-Jacob Step-test</i>	<i>Theis-Recovery</i>	<i>Tipo piezometro</i>
PD01	1.83E-04	5.90E-04	<i>Profondo</i>
PG01	6.00E-05	8.00E-05	<i>Profondo</i>
PC02	1.19E-03	1.12E-03	<i>Profondo</i>
PE02	2.16E-05	3.02E-05	<i>Superficiale</i>
PA01	3.10E-04	3.10E-04	<i>Superficiale</i>
F	6.20E-06	7.04E-06	<i>Superficiale</i>
114*	2.82E-05	-	<i>Superficiale</i>
I	6.66E-06	7.77E-06	<i>Superficiale</i>
H	1.20E-05	1.20E-05	<i>Superficiale</i>
L	9.07E-06	1.69E-05	<i>Superficiale</i>
43	3.97E-05	4.14E-05	<i>Superficiale</i>
40	1.34E-05	1.08E-05	<i>Superficiale</i>
A4	1.00E-04	4.00E-05	<i>Superficiale</i>
PP01**	2.36E-05	2.31E-05	<i>Superficiale</i>
PQ03***	1.81E-05	2.68E-05	<i>Superficiale</i>
P1	1.86E-04	3.53E-04	<i>Superficiale</i>
M	2.61E-05	2.62E-05	<i>Superficiale</i>
E	7.00E-06	1.54E-05	<i>Superficiale</i>

\* Il piezometro ha mostrato un comportamento anomalo, il valore di conducibilità stimato, seppur in linea con gli altri valori, si ritiene meno attendibile

\*\* Piezometro ubicato in Darsena Ugione

\*\*\* Piezometro ubicato in Darsena Petroli

**Figura 5.1: Distribuzione conducibilità idraulica falda superficiale (Prove di portata a gradini)**





#### 5.6.4 Prove idrauliche a portata costante

È stata condotta n° 1 prova di pompaggio a portata costante di lunga durata in corrispondenza del piezometro PE02. Durante la prova, il piezometro in emungimento è stato utilizzato per il monitoraggio degli abbassamenti del livello piezometrico. Le misure di livello sono state effettuate sia mediante freatimetro che mediante trasduttore di pressione, completo di datalogger per la registrazione delle misure di livello piezometrico con una frequenza di acquisizione di 30 secondi. Al termine del pompaggio, che ha avuto una durata indicativa di n. 72 ore, sono state registrate le misure di risalita fino a recupero di almeno il 90% del dislivello massimo registrato al momento dello spegnimento della pompa.

I dati acquisiti nel corso della prova sono stati elaborati mediante i metodi di analisi sviluppati da Cooper&Jacob (1946) e Theis (1976). Tali metodi utilizzando i dati di variazione del carico piezometrico in funzione del tempo, registrati durante la prova, consentono stimare i parametri idraulici dell'acquifero.

Nella tabella che segue si riporta il valore di conducibilità idraulica (K) stimato in corrispondenza del piezometro PE02. In Allegato 5a si riportano i risultati grafici delle elaborazioni.

**Tabella 5.11: Risultati prove a portata costante (valori di K in m/s)**

<i>ID</i>	<i>Cooper-Jacob Step-test</i>	<i>Theis-Recovery</i>	<i>Tipo piezometro</i>
<b>PE02</b>	4.91E-05	3.96E-05	<i>superficiale</i>

I valori stimati risultano confrontabili con quelli ottenuti mediante l'esecuzione dei test a gradini di portata effettuati nel medesimo piezometro.

## 5.7 Rilievo topografico

Tutti i punti di sondaggio realizzati e tutte le teste pozzo relative sia ai piezometri di nuova realizzazione sia a quelli preesistenti sono stati oggetto di una campagna di rilievo topografico, per la determinazione delle coordinate plano-altimetriche assolute, riferite al sistema di coordinate Gauss-Boaga.

In particolare, il rilievo topografico è stato effettuato mediante le seguenti operazioni:

- esecuzione di rilievo con strumentazione GPS in modalità statica per il rilievo e calcolo di nuovi Capisaldi di riferimento in coordinate Gauss-Boaga e quota s.l.m., della Raffineria di Livorno, in conformità al disciplinare tecnico relativo alla determinazione di punti GPS ad integrazione della rete fondamentale IGM95, Intesa Stato, Regioni, Enti Locali del Gruppo di Lavoro Reti plano-altimetriche;
- esecuzione di nuove linee di livellazione con origine da capisaldi dell'I.G.M. tramite le quali sono stati livellati alcuni punti fondamentali, alcuni vertici della rete eseguita (geoide locale) e altri punti all'interno della Raffineria in modo da creare nella stessa area dei capisaldi di quota nota (la cui precisione in quota deriva da livellazione di precisione), che hanno coordinate planimetriche collegate direttamente ai vertici della rete eseguita.

La tolleranza altimetrica per i punti rilevati con livellazione è 3 mm/km e 3 cm per le coordinate planimetriche.

I risultati ottenuti dall'esecuzione del rilievo topografico (coordinate X, coordinate Y e quote s.l.m.) sono riportati in Allegato 6a.

## 6. ATTIVITÀ DI LABORATORIO

### 6.1 Analisi chimiche

Nell'ambito delle attività di indagine oggetto del seguente documento, i campioni prelevati sono stati inviati al laboratorio Ambiente s.c. in località Nazzano, Carrara (MS) (laboratorio accreditato SINAL e dotato di sistema di gestione qualità certificato UNI EN ISO 9001:2000) per le analisi previste dal protocollo analitico.

Complessivamente sono stati analizzati:

- n° 1.328 campioni di suolo;
- n° 190 campioni di Top soil;
- n° 82 campioni di acqua prelevati dai piezometri nella falda superficiale;
- n° 7 campioni di acqua di falda prelevati dai piezometri di falda confinata;
- n° 4 campioni di prodotto surnatante.

In particolare, considerando le Aree interne allo Stabilimento e le Aree di pertinenza Esterna, il numero di campioni di suolo e di acqua di falda possono essere così suddivisi:

#### Aree interne di Stabilimento

- n° 1.195 campioni di suolo;
- n° 186 campioni di Top soil;

- n° 76 campioni di acqua prelevati dai piezometri nella falda superficiale (di cui n° 3 da piezometri al di fuori del confine di stabilimento ma in prossimità dello stesso e di proprietà ENI);
- n° 7 campioni di acqua di falda prelevati dai piezometri della falda confinata;
- n° 3 campioni di prodotto surnatante in piezometri della falda superficiale.

### Darsene

- n° 81 campioni di suolo;
- n° 4 campioni di Top soil;
- n° 6 campioni di acqua prelevati dai piezometri nella falda superficiale;
- n° 1 campione di prodotto surnatante.

### Tracciato oleodotti

- n° 52 campioni di suolo.

La successiva tabella indica il numero di campioni di suolo prelevato suddiviso per Area omogenea.

**Tabella 6.1: Numero di campioni di suolo suddiviso per Area omogenea**

SIGLA AREA	N° CAMPIONI DI SUOLO	N° CAMPIONI DI TOP SOIL
<b>ENI S.P.A. DIV. R&amp;M - RAFFINERIA DI LIVORNO</b>		
<i>Aree interne allo stabilimento</i>		
<b>A</b>	29	5
<b>B</b>	85	12
<b>C</b>	83	9
<b>D</b>	77	30
<b>E</b>	30	3
<b>F</b>	16	-
<b>G</b>	462	64
<b>H</b>	36	2
<b>I</b>	134	23
<b>It1, 2</b>	26	2
<b>L</b>	62	10
<b>ENI S.P.A. DIV. R&amp;M - RAFFINERIA DI LIVORNO</b>		
<i>Aree di pertinenza esterna</i>		
<b>O</b>	52	-
<b>P</b>	33	2
<b>Q</b>	48	2
<b>ENI S.P.A. DIV. R&amp;M - STAP - Aree interne allo stabilimento</b>		
<b>M</b>	99	8
<b>ENIPOWER S.P.A. - STABILIMENTO DI LIVORNO</b>		
<i>Aree interne allo stabilimento</i>		
<b>N, N<sub>G</sub>, N<sub>G</sub></b>	56	18
<b>Totale</b>	<b>1.328</b>	<b>190</b>

Il numero complessivo di campioni di suolo e di acqua di falda prelevati di concerto con Autorità Locali Competenti (ARPAT Livorno) e sottoposti ad analisi in contraddittorio è il seguente (vedi Tabelle 6.2 e 6.3):

- n° 156 campioni di suolo e Top soil;
- n° 8 campioni di acqua di falda.

**Tabella 6.2: Campioni di suolo in contraddittorio con ARPAT**

Sond.	Sigla	Data Verbale	Area di appartenenza
INT96	C01	14/04/05	Raffineria
INT93	C01	14/04/05	Raffineria
INT100	C01	14/04/05	Raffineria
INT81	C02	14/04/05	Raffineria
INT63	C02	14/04/05	Raffineria
INT88	C02	14/04/05	Raffineria
INT70	C02	14/04/05	Raffineria
INT74	C01	14/04/05	Raffineria
INT86	C01	25/02/05	Raffineria
INT45	C01	25/02/05	Raffineria
INT42	C02	25/02/05	Raffineria
INT42	CTC	25/02/05	Raffineria
SP02	C03	25/02/05	Raffineria
SP11	C03	25/02/05	Raffineria
SM32	C01	18/02/05	STAP
SM14	C01	18/02/05	STAP
SM26	C01	18/02/05	STAP
SM03	C02	18/02/05	STAP
SM17	CD	18/02/05	STAP
SM02	C01	18/02/05	STAP
SM16	C02	18/02/05	STAP
SM34	C02	18/02/05	STAP
SM41	C02	18/02/05	STAP
SM01	CA	18/02/05	STAP
SIT03	C02	01/02/05	Raffineria
SIT07	C02	01/02/05	Raffineria
SIT07	CD	01/02/05	Raffineria
SIT11	C01	01/02/05	Raffineria
SD12	C04	01/02/05	Raffineria
INT32	C01	01/02/05	Raffineria
INT24	C01	01/02/05	Raffineria
INT17	C01	01/02/05	Raffineria
SIT02	CA	01/02/05	Raffineria
SE01	C01	23/12/04	Raffineria
SE02	CD	23/12/04	Raffineria
SE09	C02	23/12/04	Raffineria
SG30	C01	23/12/04	Raffineria
SD08	C02	10/12/04	Raffineria
SD22	CTC	06/12/04	Raffineria
SN10	CPCB	02/12/04	EniPower
SN10	C02	02/12/04	EniPower
SN05	C01	02/12/04	EniPower
SQ18	C01	02/12/04	Raffineria
SQ06	C03	02/12/04	Raffineria
SO01	C01	02/12/04	Raffineria
SO03	C02	02/12/04	Raffineria
SI51	C01	26/11/04	Raffineria
SI51	C02	26/11/04	Raffineria
INT01	C01	26/11/04	Raffineria
INT01	C02	26/11/04	Raffineria
INT02	C01	26/11/04	Raffineria
INT02	C02	26/11/04	Raffineria

Luglio 2005  
Rev. 0

Eni S.p.A. – Div. R&M - Raffineria di Livorno  
Eni S.p.A. – Div. R&M - STAP  
EniPower S.p.A. – Stabilimento di Livorno  
Relazione Tecnica Descrittiva delle attività di  
Caratterizzazione Ambientale

62 di 90

Contratto FWIENV n° 1-BH-0209-

Sond.	Sigla	Data Verbale	Area di appartenenza
INT02	C03	26/11/04	Raffineria
INT03	C01	26/11/04	Raffineria
INT03	C02	26/11/04	Raffineria
SG155	C01	20/11/04	Raffineria
SG196	C02	20/11/04	Raffineria
SG127	C01	20/11/04	Raffineria
SG128	CD	20/11/04	Raffineria
SI36	CA	20/11/04	Raffineria
SG87	C02	11/11/04	Raffineria
SL13	C02	11/11/04	Raffineria
SNL07	C01	11/11/04	EniPower
SG168	C02	11/11/04	Raffineria
SI08	C01	11/11/04	Raffineria
SI23	C01	11/11/04	Raffineria
SH03	CPCB	11/11/04	Raffineria
SG93	C04	29/10/04	Raffineria
SI21	C02	29/10/04	Raffineria
SG123	C01	29/10/04	Raffineria
SG164	C02	29/10/04	Raffineria
SL06	C01	14/10/04	Raffineria
SG129	C04	14/10/04	Raffineria
SG93	C02	08/10/04	Raffineria
SG129	CD	01/10/04	Raffineria
SG129	C02	01/10/04	Raffineria
SA09	C03	01/10/04	Raffineria
SB17	C01	24/09/04	Raffineria
SC14	C01	24/09/04	Raffineria
SC14	CD	24/09/04	Raffineria
SF05	C02	24/09/04	Raffineria
SG130	C02	24/09/04	Raffineria
SG158	C02	24/09/04	Raffineria
SG158	CA	24/09/04	Raffineria
SL16	C01	24/09/04	Raffineria
SB08	CPCB	20/09/04	Raffineria
SB08	CA	20/09/04	Raffineria
SB09	C02	20/09/04	Raffineria
SB15	C01	20/09/04	Raffineria
SI02	CD	20/09/04	Raffineria
SI15	C01	20/09/04	Raffineria
SI24	C02	20/09/04	Raffineria
SG180	C01	20/09/04	Raffineria
SG104	C02	20/09/04	Raffineria
SG98	C01	20/09/04	Raffineria
SG21	C02	13/09/04	Raffineria
SI32	C02	13/09/04	Raffineria
SI12	C01	13/09/04	Raffineria
SC19	C02	13/09/04	Raffineria
SN08	C02	09/09/04	EniPower
SN08	CPCB	09/09/04	EniPower
SN04	C01	09/09/04	EniPower
SN03	C02	09/09/04	EniPower
SN03	CPCB	09/09/04	EniPower

Luglio 2005  
Rev. 0

Eni S.p.A. – Div. R&M - Raffineria di Livorno  
Eni S.p.A. – Div. R&M - STAP  
EniPower S.p.A. – Stabilimento di Livorno  
Relazione Tecnica Descrittiva delle attività di  
Caratterizzazione Ambientale

63 di 90

Contratto FWIENV n° 1-BH-0209-

Sond.	Sigla	Data Verbale	Area di appartenenza
SM37	C02	09/09/04	STAP
SG86	C02	09/09/04	Raffineria
SB26	C02	09/09/04	Raffineria
SB25	CA	09/09/04	Raffineria
SI50	C02	09/09/04	Raffineria
SI55	C02	09/09/04	Raffineria
SG212	C02	02/09/04	Raffineria
SC03	C02	02/09/04	Raffineria
SC07	C01	02/09/04	Raffineria
SH07	C02	02/09/04	Raffineria
SG199	C01	02/09/04	Raffineria
SG199	CD	02/09/04	Raffineria
SG199	CA	02/09/04	Raffineria
SG209	C02	02/09/04	Raffineria
SNG02	C02	26/08/04	EniPower
SNG02	CPCB	26/08/04	EniPower
SG114	C02	26/08/04	Raffineria
SG65	C02	26/08/04	Raffineria
SG57	C02	26/08/04	Raffineria
SG50	C02	26/08/04	Raffineria
SG32	C02	26/08/04	Raffineria
SG11	C01	26/08/04	Raffineria
SG71	C02	26/08/04	Raffineria
SI11	C01	26/08/04	Raffineria
SG43	C01	05/08/04	Raffineria
SI39	C01	05/08/04	Raffineria
SL01	C01	05/08/04	Raffineria
SG20	C01	05/08/04	Raffineria
SG143	C02	02/08/04	Raffineria
SG77	C02	02/08/04	Raffineria
SH02	C02	02/08/04	Raffineria
SI07	C02	02/08/04	Raffineria
SG84	C02	23/07/04	Raffineria
SG70	C02	23/07/04	Raffineria
SG70	CD	23/07/04	Raffineria
SG76	C01	23/07/04	Raffineria
SG61	C02	23/07/04	Raffineria
SG133	C02	23/07/04	Raffineria
SG133	CA	23/07/04	Raffineria
SD13	C01	16/07/04	Raffineria
SD06	C01	16/07/04	Raffineria
SL02	C02	16/07/04	Raffineria
SL10	C02	16/07/04	Raffineria
SG111	C02	16/07/04	Raffineria
SG119	C02	16/07/04	Raffineria
SC20	C02	13/07/04	Raffineria
SC21	C02	13/07/04	Raffineria
SG64	C02	13/07/04	Raffineria
SC29	CD	09/07/04	Raffineria
SC32	CA	09/07/04	Raffineria
SC33	C02	09/07/04	Raffineria
SC34	C02	09/07/04	Raffineria

Luglio 2005  
Rev. 0

Eni S.p.A. – Div. R&M - Raffineria di Livorno  
Eni S.p.A. – Div. R&M - STAP  
EniPower S.p.A. – Stabilimento di Livorno  
Relazione Tecnica Descrittiva delle attività di  
Caratterizzazione Ambientale

64 di 90

Contratto FWIENV n° 1-BH-0209-



**Tabella 6.3: Campioni di acqua di falda in contraddittorio con ARPAT**

Piezometro	Data Verbale	Area di appartenenza
PE01	23/06/05	Raffineria
PP01	23/06/05	Raffineria
PD01*	22/06/05	Raffineria
PG03*	22/06/05	Raffineria
PM02	22/06/05	STAP
PZ 103	07/06/05	Raffineria
PZ N1	07/06/05	Raffineria
PZ P1	07/06/05	Raffineria

\*Piezometro in acquifero confinato

I campioni di suolo e di acqua sotterranea prelevati sono stati analizzati presso il laboratorio Ambiente s.c.r.l. di Carrara (MS). I campioni da sottoporre a Test di cessione e analisi dell'amianto sono stati, invece, analizzati presso il Laboratorio Chelab (laboratorio accreditato SINAL) di Resana (TV).

I parametri determinati nel corso delle analisi e le relative metodologie sono riportate negli Allegati 4a e 4b relative, rispettivamente per terreni e alle acque sotterranee, così come indicato nel Protocollo operativo delle attività di caratterizzazione ambientale stilato in accordo con ARPAT.

I protocolli analitici da applicare alle singole Aree omogenee sono riportati in Allegato 4c.

I protocolli analitici per le rispettive Aree omogenee tengono conto delle richieste emerse in sede di Conferenza dei Servizi Decisoria del 23 aprile 2004.

## 7. RISULTATI ANALITICI

In base ai risultati della caratterizzazione analitica, è stata effettuata una rappresentazione grafica spaziale delle eccedenze rispetto ai limiti di riferimento rinvenute nei terreni e nelle acque sotterranee del Sito (vedi Allegati 7 e Allegati 8).

L'esposizione dei risultati analitici, come descritto nei paragrafi seguenti, si sviluppa mantenendo distinte le seguenti aree:

- Aree ENI S.p.A. Div. R &M - Raffineria di Livorno
  - interne allo Stabilimento,
  - di pertinenza esterna,
- Aree ENI S.p.A. Div. R &M.- STAP
- Aree EniPower S.p.A.

Le tabelle riportanti i risultati delle analisi condotte sui campioni di terreno e di acqua prelevati sono riportate negli Allegati 3a - 3c, mentre copia dei Certificati analitici emessi dai Laboratori incaricati sono riportati negli Allegati 4d - 4g.

### 7.1 Stato qualitativo dei terreni

Confrontando i risultati analitici dei campioni di suolo prelevati con i limiti previsti dalla Tabella 1, colonna B dell'Allegato 1 del D.M. 471/99 (Siti ad uso Commerciale ed Industriale), si evidenzia la presenza di diffuse non conformità superficiali in Aree interne allo Stabilimento ed in isolati punti nelle Aree di pertinenza Esterne.

Si riporta qui di seguito la situazione delle non conformità presenti in ciascuna area omogenea.

### 7.1.1 Raffineria di Livorno – Aree interne

Le Aree Omogenee di proprietà Eni Div. R&M - Raffineria di Livorno interne allo Stabilimento sono 12, così come definite nel PdC.

Il numero totale dei sondaggi realizzati in tali aree è 507, dall'Allegato 3a, riportante i risultati analitici di tali campioni, si evince quanto segue:

AREA A: su n° 13 punti di investigazione si è riscontrato n° 1 sondaggio eccedente rispetto ai limiti normativi per i parametri TPH C< e C>12 e Idrocarburi Aromatici.

AREA B: su n° 42 punti di investigazione si sono riscontrati n° 10 sondaggi eccedenti rispetto ai limiti normativi per i parametri TPH C< e C>12 e Idrocarburi Aromatici.

AREA C: su n° 39 punti di investigazione si sono riscontrati n° 2 sondaggi eccedenti rispetto ai limiti normativi per i parametri TPH C<12 e Idrocarburi Aromatici.

AREA D: su n° 37 punti di investigazione, considerando le analisi sul tal quale, si sono riscontrati n° 2 sondaggi eccedenti rispetto ai limiti normativi esclusivamente per il parametro TPH C>12.

Inoltre, in quest'area, ove è stata rilevata la presenza di terreno inertizzato, si è proceduto al campionamento da sottoporre a Test di cessione ai sensi del D.M. 5 febbraio 1998. Confrontando i risultati analitici con i limiti previsti dal D.M. 471/99, e con quelli del D.M. 05/02/98 per quei parametri non normati dalla 471, si evidenziano le eccedenze di COD, Cianuri, Fluoruri, Solfati e di alcuni metalli (Arsenico, Nichel, Piombo e Vanadio).

AREA E: su n° 14 punti di investigazione si è riscontrato n° 1 sondaggi eccedente rispetto ai limiti normativi per il parametri Mercurio.

AREA F: su n° 8 punti di investigazione si sono riscontrati n° 4 sondaggi eccedenti rispetto ai limiti normativi per i parametri TPH C>12.

AREA G: su n° 228 punti di investigazione si sono riscontrati n° 85 sondaggi eccedenti rispetto ai limiti normativi per i parametri TPH C<12 e C>12, Idrocarburi Aromatici, IPA, MTBE e Mercurio.

In quest'area, ed in particolare nel sondaggio SG157, dall'analisi del Top soil per la ricerca dell'amianto totale, mediante la metodica del D.M. 06/09/94 All.1-A, è stato rinvenuto un lieve superamento pari a 1.300 mg/kg (limite di riferimento pari a 1000 mg/Kg).

AREA H: su n° 17 punti di investigazione si sono riscontrati n° 6 sondaggi eccedenti rispetto ai limiti normativi per i parametri TPH C<12 e C>12, Idrocarburi Aromatici, Cromo totale e Nichel.

AREA I: su n° 66 punti di investigazione si sono riscontrati n° 39 sondaggi eccedenti rispetto ai limiti normativi per i parametri TPH C<12 e C>12, Idrocarburi Aromatici, IPA, MTBE e Zinco.

Nell'area I, ed in particolare nel sondaggio SI18, dall'analisi del Top soil per la ricerca dell'amianto totale, mediante la metodica del D.M. 06/09/94 All. 1-A, è stato rinvenuto un lieve superamento pari a 1.300 mg/kg (limite di riferimento 1000 mg/Kg).

AREA L: su n° 31 punti di investigazione si sono riscontrati n° 7 sondaggi eccedenti rispetto ai limiti normativi per i parametri TPH C<12 e C>12, Cromo totale e Nichel.

AREA It<sub>1</sub>: su n° 6 punti di investigazione non si sono riscontrate eccedenze rispetto ai limiti normativi.

AREA It<sub>2</sub>: su n° 6 punti di investigazione non si sono riscontrate eccedenze rispetto ai limiti normativi.

### 7.1.2 Raffineria di Livorno - Aree di pertinenza esterna

#### Darsene Ugione e Petroli

Nelle due aree delle darsene Ugione e Petroli sono stati realizzati un totale di n° 37 sondaggi.

Dei n° 37 sondaggi eseguiti, nella Darsena Ugione e nella Darsena Petroli sono stati attrezzati a piezometro da 10 m rispettivamente n° 3 e n° 4 sondaggi (vedi Tabella 7.5).

AREA P: Sui 15 punti di investigazione si sono riscontrati n° 2 sondaggi eccedenti rispetto ai limiti normativi per i parametri TPH C<12, C>12, Idrocarburi Aromatici e Arsenico.

AREA Q: Sui 22 punti di investigazione si sono riscontrati n° 13 sondaggi eccedenti rispetto ai limiti normativi per i parametri TPH C<12, C>12, Arsenico, Cadmio e Zinco.

#### Tracciato oleodotto

Come indicato nel Piano di Caratterizzazione, preliminarmente all'esecuzione di sondaggi geognostici lungo il Tracciato oleodotto, è stata eseguita una campagna di investigazione mediante Soil gas survey.

Lungo i 4,5 km di lunghezza del tracciato degli oleodotti, che collega la Raffineria alle Darsene, sono stati realizzati n° 90 punti di investigazione mediante Soil gas survey.

Sulla base dei risultati analitici raccolti mediante Soil gas survey, i cui valori sono riportati in Allegato 3c, si può osservare che:

- le misure dei composti organici volatili (VOC) indicano concentrazioni molto contenute e variabili tra 0 e 14 ppm (valori stabilizzati);

- le misure di concentrazione della CO<sub>2</sub> indicano un intervallo di concentrazione variabile tra 0 ed il 5%, tranne per n° 3 casi con valore >5%;
- le misure di concentrazione di O<sub>2</sub> indicano un intervallo di concentrazione variabile tra 4,6 e 20,9%;
- assenza di CH<sub>4</sub>.

Sui n° 11 sondaggi a carotaggio realizzati per l'area del Tracciato degli oleodotti si sono riscontrati n° 7 sondaggi eccedenti (ricadenti in Darsena Petroli) rispetto ai limiti normativi per i parametri TPH C>12, Arsenico e Cadmio.

Sulla base dei suddetti risultati sono stati ubicati, di concerto con ARPAT, ulteriori 30 sondaggi geognostici lungo il tracciato oleodotto che hanno mostrato n° 1 sondaggio eccedente per Idrocarburi C>12 ed 1 sondaggio per Arsenico.

#### 7.1.3 Area STAP

Nell'area M dello Stabilimento produzione lubrificanti di Livorno – STAP sono stati realizzati n° 46 sondaggi interni all'area e n° 2 esterni..

Sui 48 punti di investigazione si sono riscontrati n° 12 sondaggi eccedenti rispetto ai limiti normativi per i parametri TPH C<12, C>12 e Idrocarburi Aromatici.

#### 7.1.4 Area EniPower

Per le aree omogenee N di proprietà EniPower S.p.A. – Stabilimento di Livorno sono stati realizzati n° 26 sondaggi, di cui n° 13 interni all'area N, n° 4 esterni all'area N<sub>G</sub> e nell'area N<sub>L</sub> n° 2 interni e n° 2 esterni all'area.

Sui 26 punti di investigazione si sono riscontrati n° 4 sondaggi eccedenti rispetto ai limiti normativi per i parametri TPH C>12 e IPA.

## 7.2 Stato qualitativo delle acque di falda

Nei mesi maggio e giugno 2004 si è proceduto alla caratterizzazione analitica delle acque di falda. A tale scopo, sono stati prelevati ed analizzati, secondo le procedure descritte nel presente documento ed in conformità al Protocollo Operativo delle Attività di Caratterizzazione Ambientale, i campioni relativi a 86 piezometri che captano la falda freatica superficiale (79 dei quali ubicati nelle Aree interne allo Stabilimento e 7 nelle Aree di pertinenza esterna) e a 7 piezometri che captano la falda confinata (n° 5 ubicati in area di Raffineria Eni, n° 1 in STAP e n° 1 in EniPower).

I risultati delle analisi condotte sui campioni di acqua sotterranea prelevati nell'ambito della campagna di Caratterizzazione sono illustrati nella tabella in Allegato 3b.

Osservando i risultati analitici delle acque di falda (*falda freatica superficiale e falda confinata*), si riscontra una non conformità diffusa nella maggioranza dei piezometri campionati per i parametri Ferro, Manganese e Solfati; indipendentemente dall'ubicazione dell'area omogenea di appartenenza, tale presenza non è attribuibile a processi industriali svolti all'interno del Sito. Questo fa presupporre che tale presenza sia riferibile ad un Valore di fondo naturale sulla base di cui si chiede vengano riparametrizzati i valori di concentrazione limite.

Per quanto riguarda il Parametro MTBE nelle acque di falda è stato assunto il limite di riferimento pari a 350µg /l, assimilandolo al parametro "Idrocarburi Totali come n-esano".

Premesso quanto sopra, si osserva che i superamenti dei limiti della normativa di riferimento sono imputabili sia a sostanze organiche sia inorganiche. In particolare, la contaminazione è da attribuirsi ad As, Ni, Fluoruri, Idrocarburi Aromatici ed MTBE.

### 7.2.1 Falda freatica superficiale

Per quanto riguarda i composti inorganici, si evidenziano superamenti dei limiti normativi per la qualità delle acque della falda relativamente ai parametri Arsenico, Nichel e Fluoruri. In particolare, i Fluoruri eccedono soltanto in un punto ubicato nelle Aree interne allo Stabilimento (PZ43) e valori di As e Ni eccedenti i limiti tabellari sono stati riscontrati in n° 5 piezometri (3 in Raffineria e 2 nella Darsena Petroli).

Per gli Idrocarburi Aromatici, si riscontrano isolate eccedenze dei parametri Benzene e p-Xilene, in n° 5 piezometri ubicati nelle Aree interne allo Stabilimento, mentre in Darsena Petroli si hanno non conformità per il parametro Benzene, Toluene, Etilbenzene e p-Xilene nel piezometro PQ4.

Per l'MTBE, le analisi eseguite mostrano superamenti del limite di riferimento proposto per n° 5 piezometri superficiali campionati (di cui 1 in Darsena Petroli).

Nei piezometri in cui si è rilevata la presenza di prodotto in fase separata si è proceduto alla misura dello spessore ed al prelievo, attraverso campionamento di tipo statico (bailer), del prodotto libero surnatante da sottoporre ad analisi di caratterizzazione merceologica.

Nella successiva Tabella 7.1 si elencano i piezometri in cui è stata riscontrata la presenza di prodotto surnatante.

**Tabella 7.1: Piezometri con presenza di prodotto in fase libera**

Piezometro	Spessore apparente (cm)	Area di appartenenza



PI01	127	Raffineria
PI02	24	Raffineria
PZ115	5	Raffineria
PP02	20	Raffineria – D. Ugione

Il ridotto spessore e l'elevata viscosità del prodotto nel piezometro PZ115 non hanno permesso il prelievo di una quantità sufficiente per l'esecuzione di tutte le analisi utili alla caratterizzazione merceologica dello stesso.

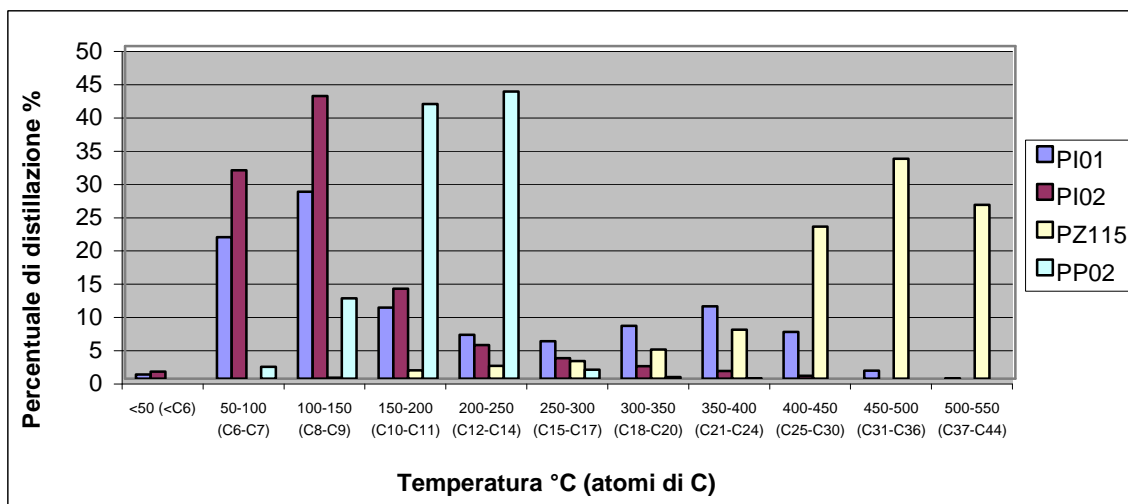
L'analisi merceologica sui campioni di prodotto surnatante riguarda i parametri Viscosità, Densità, % di zolfo e distillazione frazionata per analizzare la composizione percentuale delle diverse frazioni di idrocarburi presenti.

Le tre densità analizzate hanno valori simili, tra 0,801 e 0,828 kg/dm<sup>3</sup>, mentre le viscosità e la % di zolfo risultano rispettivamente compresi tra 1,20 e 1,68 cSt e 0,24 e 1,31%.

Nella successiva figura vengono rappresentati graficamente i risultati della distillazione frazionata.

I certificati analitici delle analisi svolte sui campioni di prodotto surnatante sono riportati in Allegato 4g.

**Figura 7.1: Istogramma di distillazione frazionata del prodotto surnatante**



Come si può notare dal grafico sopra riportato, il piezometro PZ115 risulta costituito da frazioni più pesanti (*Range Olii*), mentre gli altri prodotti risultano in maggior parte costituiti da frazioni più leggere (*Range Benzine*).

### 7.2.2 Falda confinata

Le analisi dei campioni di acqua di falda prelevati dai n° 7 piezometri realizzati nella falda confinata mostrano una totale conformità dei parametri con i limiti tabellari del D.M. 471/99.

## 8. MODELLO CONCETTUALE DEL SITO

Sulla base delle informazioni raccolte attraverso l'esecuzione delle indagini previste dal Piano di caratterizzazione e presentate nei precedenti capitoli è possibile definire il modello concettuale del sito.

Con il modello concettuale si evidenziano le caratteristiche del sito in termini di:

- caratteristiche dominanti dell'ambiente con cui il sito interagisce;
- grado ed estensione della contaminazione nelle diverse componenti ambientali, sia nel sito sia nell'area da esso influenzata.

### 8.1 Caratteristiche ambientali rilevanti dell'area

#### 8.1.1 Caratteristiche geologiche del sito

L'area di Raffineria è ubicata su un'area di sedimentazione alluvionale recente, tra il mare, il Torrente Ugione e la foce dell'Arno, il cui substrato è costituito da alluvioni recenti eterogenee (sabbie fini, limose, limi argillosi ecc.) con localizzate lenti di limo ed argilla e depositi torbosi segnalanti fasi di impaludamento e di rallentamento nella deposizione.

Dalle informazioni pregresse e dalle indagini svolte durante l'esecuzione della caratterizzazione del sito, la stratigrafia dell'area di Raffineria può essere così sintetizzata:

- strato di riporto costituito da ghiaie e sabbie di color grigio – nocciola compreso tra 0,5 e 2 metri di spessore;

- strato di riporto costituito da terreno inertizzato da circa 0,6 a 1,5 m da p.c. (esclusivamente in zona Centro-Nord dell'area D);
- livelli discontinui argillosi, argilloso-limosi di 0,5 – 2 m di spessore in alcune delle aree dello stabilimento;
- alternanze metriche di sabbie medio e fini di color grigio – color nocciola, sabbie fini limose, limi e limi sabbiosi argillosi;
- orizzonte di argilla limosa o debolmente limosa consistente dello spessore di 1,5 – 7,5 metri;
- alternanze di orizzonti da decimetrici a metrici di sabbie da fini a grossolane, limi argillosi, argille limose e ghiaie poligeniche eterogenee.

In molte delle stratigrafie dei sondaggi eseguiti si possono notare livelli centrimetrici – decimetrici di localizzati depositi torbosi che indicano fasi di impaludamento e di rallentamento nella deposizione.

La natura impermeabile degli strati di argille riscontrate e il loro spessore garantiscono una buona separazione tra la falda freatica superficiale ed il corpo idrico confinato sottostante.

### 8.1.2 Caratteristiche idrogeologiche del sito

Sulla base delle battute freaticometriche eseguite è stato possibile ricostruire l'andamento piezometrico della falda superficiale e della falda confinata mediante interpolazione dei dati piezometrici puntuali. Sono stati inoltre rilevati i livelli nei corpi idrici di maggiore interesse (canale Scolmatore del fiume Arno ubicato a nord e torrente Unione ubicato a sud del sito), circostanti la Raffineria, al fine di delineare le modalità di interazione tra acque sotterranee e superficiali.

La piezometria della falda superficiale risulta caratterizzata da un gradiente idraulico variabile da zona a zona e generalmente inferiore a 0,15%. Da un'analisi delle possibili direzioni di flusso, emerge la tendenza delle acque di falda a convergere nel settore centrale del sito dove si riscontra una depressione piezometrica che si estende su buona parte del sito raggiungendo quote assolute di  $-0.5$  m s.l.m. in corrispondenza del PZI. In particolare la ricostruzione della carta piezometrica mette in evidenza che sulla quasi totalità del confine di Raffineria, il flusso della falda superficiale risulta entrante e che vi è una possibile alimentazione di acque dal Torrente Ugione alla falda, in particolare nel tratto compreso tra PC02 e PC03, dove il livello del canale risulta prossimo a 1 m s.l.m.. Si evidenzia, inoltre, un possibile effetto di drenaggio in corrispondenza del Fossetto del Capannone ad ovest del sito, unico punto in cui il deflusso di falda è in uscita dalla Raffineria.

La freaticimetria della falda confinata mostra la direzione di flusso prevalente da est verso ovest. Il livello piezometrico risulta generalmente superiore a quello della falda freatica superficiale, dimostrandone la separazione idraulica.

I n° 3 piezometri rilevati nella Darsena Ugione mostrano livelli confrontabili con quelli osservati in area di Raffineria confermando i modesti gradienti idraulici in gioco e quindi la scarsa mobilità della falda.

Dai risultati delle prove di emungimento e dalle prove di permeabilità si evince che il settore est della Raffineria risulta caratterizzato da valori di conducibilità idraulica della falda freatica più elevati. Da un esame dei dati ottenuti si riscontra, relativamente all'acquifero superficiale, un valore medio di  $K$  pari a  $5.96 \cdot 10^{-5}$  m/s mentre per l'acquifero profondo un valore medio di  $K$  pari a  $5.37 \cdot 10^{-4}$  m/s.

## 8.2 Stato qualitativo delle matrici ambientali

### 8.2.1 Matrice Suolo

Confrontando i risultati analitici dei campioni di suolo prelevati con i limiti previsti dalla Tabella 1, colonna B dell'Allegato 1 del D.M. 471/99 (Siti ad uso Commerciale ed Industriale), si evidenzia la presenza di diffuse non conformità superficiali in Aree interne allo Stabilimento ed in isolati punti nelle Aree di pertinenza Esterne.

Per quanto riguarda le aree interne di stabilimento, il maggior numero di non conformità è localizzato nelle aree omogenee G, H e I (Aree Interne di Stabilimento a più netta vocazione produttiva, Serbatoi Pensiline ed Impianti). Infatti le mappe delle non conformità nei suoli mostrano un diffusa presenza di sostanze organiche, in particolare nell'area centro-orientale della Raffineria, quali: Idrocarburi C>12, C<12.

Come si evince dalle Figure relative alle non conformità dei vari parametri (vedi Allegati 7 e 8) la presenza di metalli, IPA e Composti Alifatici Clorurati Cancerogeni sono identificate in isolati punti del Sito e sono numericamente non rilevanti.

Per quanto riguarda le Aree di pertinenza esterne si segnalano isolate non conformità, che assumono una presenza più marcata in prossimità della Darsena Petroli soprattutto per quanto riguarda la contaminazione da sostanze inorganiche. Si sottolinea che la presenza di tali sostanze inorganiche (Arsenico, Cadmio e Zinco) non è attribuibile alle attività produttive svolte sull'area da parte di ENI S.p.A. Div. R&M, ma bensì sono presumibilmente da attribuire alla tipologia di materiale utilizzato per la realizzazione della Darsena stessa. Si sottolinea che tale Darsena è costituita da due muri di contenimento paralleli distanti poche decine di metri colmati da materiale di riporto.

La distribuzione della contaminazione lungo la verticale di indagine mostra (come evidenziato nella tabella seguente) che buona parte delle non conformità sono relative

all'intervallo di profondità 1 – 2 m da p.c. (C01), cioè l'intervallo compreso nella fascia di terreno insaturo e di oscillazione della falda

**Tabella 8.1: Eccedenze in funzione della profondità del campione**

Sigla campione	N° campioni totali	N° campioni eccedenti	% eccedenze
C01	659	180	27,3
C02	629	41	6,5
C03	33	0	0,0
C04	7	0	0,0

Con l'aumentare della profondità, il numero dei campioni non conformi diminuisce, infatti, nel campione C02 (intervallo 3 – 4 m da p.c.), le non conformità si riducono al 6,5% dei campioni prelevati. Nessun campione relativo alle sigle C03 C04 ha evidenziato superamenti di alcuna sostanza ricercata, a dimostrazione di una contaminazione a carattere prettamente superficiale.

Riassumendo, le non conformità riscontrate riguardano, per le sostanze inorganiche:

- Arsenico (n° 23 eccedenze in area P, Q e O),
- Cadmio (n° 2 eccedenze in area Q e O),
- Cromo tot. (n° 3 eccedenze in area H e L),
- Nichel (n° 3 eccedenze in area H e L),
- Mercurio (n° 2 eccedenze in area E e G),
- Zinco (n° 2 eccedenze in area I e Q);

mentre, per le sostanze organiche:

- TPH C<12 e C> 12 (rispettivamente n° 105 eccedenze, corrispondenti al 7,9% totale dei campioni, e n° 155 eccedenze, corrispondenti all'11,6% dei campioni),
- Idrocarburi Aromatici (n° 163 eccedenze, corrispondenti al 12,2% del totale dei campioni),
- Idrocarburi Policiclici Aromatici (n° 10 eccedenze in n° 3 sondaggi in area G, I e N),
- Alifatici Clorurati Cancerogeni (n° 4 eccedenze in n° 2 sondaggi in area I),
- MTBE (n° 9 eccedenze in area G e I).

Dalle analisi di Top soil effettuate per la ricerca di amianto e diossine si evidenziano solamente n° 2 lievi non conformità su 64 campioni per quanto riguarda l'amianto. (1.300 mg/kg riscontrati rispetto al limite di riferimento di 1.000 mg/kg).

Tutti i campioni di Top soil sottoposti alla ricerca di PCB e Diossine hanno dato valori di concentrazione al di sotto del limite normativo.

Per quanto riguarda l'Area di Espansione Sud (Area Omogenea D), nello specifico, la presenza di melme inertizzate ha evidenziato, per i 22 campioni prelevati e sottoposti a test di cessione (CTC) così come indicato dal D.M. 5 febbraio 1998, e confrontate con il limite del DM 471/99 per le acque sotterranee, superamenti per quanto riguarda i seguenti parametri:

- COD;
- Cianuri;
- Fluoruri;
- Solfati;
- Arsenico;
- Nichel;
- Piombo;



- Vanadio.

I parametri analitici non normati dal D.M. 471/99 sono stati confrontati con i limiti del D.M. 05/02/98.

Le mappe delle non conformità nei suoli per i vari parametri analizzati sono riportate in Allegato 7.

### 8.2.2 *Matrice Acqua*

Confrontando i risultati analitici dei campioni di acqua prelevati con i limiti previsti dalla Tabella delle Acque Sotterranee, dell'Allegato 1 del D.M. 471/99, si evidenzia la presenza di isolate non conformità nei piezometri captanti la falda freatica superficiale e una globale conformità ai limiti per i piezometri captanti la falda confinata.

Si osserva che i superamenti dei limiti della normativa di riferimento per quanto riguarda la falda freatica superficiale sono imputabili sia a sostanze organiche sia inorganiche. In particolare, la contaminazione è da attribuire ai seguenti parametri:

- Metalli (As, Ni), Fluoruri;
- Idrocarburi Aromatici;
- MTBE.

Non conformità di Arsenico sono state riscontrate in n° 3 piezometri (1 in Aree interne allo stabilimento e 2 nella Darsena Petroli); si sottolinea che la presenza delle due non conformità di Arsenico in Darsena Petroli non sono attribuibili alle attività produttive svolte sull'area da parte di ENI S.p.A. Div. R&M, ma bensì sono presumibilmente da attribuire alla tipologia di materiale utilizzato per la realizzazione della Darsena stessa, costituita da due muri di contenimento paralleli distanti poche decine di metri colmati da materiale di riporto.

Per quanto riguarda gli Idrocarburi Aromatici, si verificano isolate non conformità soprattutto in prossimità della zona centrale dello stabilimento ed in prossimità del PQ4 in Darsena Petroli.

Il MTBE è presente in concentrazione superiore al limite di riferimento proposto in solo n° 4 piezometri superficiali ubicati nelle Aree Interne allo Stabilimento e nel PQ4 ubicato in Darsena Petroli. La maggior concentrazione di MTBE è stata rinvenuta in prossimità del piezometro PQ4 ubicato in Nuova Darsena Petroli.

In tre piezometri ubicati nelle Aree Interne allo Stabilimento (PI01 PI02 e PZ115) si rinviene uno spessore variabile di prodotto surnatante, le caratteristiche merceologiche di tali prodotti sono riportate nel Capitolo 7. In Darsena Ugione si rinviene prodotto surnatante localmente in prossimità del piezometro PP02.

## 9. HOT SPOT

Dalla campagna di indagine svolta sui suoli e acque di falda, sono stati individuati alcuni punti di Hot spot, relativamente ai parametri persistenti e/o molto tossici e/o cancerogeni elencati nell'Allegato 1 della Nota ISS del 22 ottobre 2004.

Gli Hot spot rinvenuti nel suolo sono riportati nella seguente tabella e sono riportati nella planimetria in Allegato 7m.

**Tabella 9.1: Hot spot nei suoli**

Chain	Sondaggio		Benzene	Toluene	Benzo_a_antracene	Benzo_a_pirene	Benzo_b_fluorantene	Indenopirine
Unità di misura			mg/Kg s.s.	mg/Kg s.s.	mg/Kg s.s.	mg/Kg s.s.	mg/Kg s.s.	mg/Kg s.s.
10_4689/FSW40216	SI39	C01	40,70					
19_5711/FSW40545	SG185	C01	44,08					
22_6097/FSW40660	SI15	C01	39,57					
22_6130/FSW40693	SG100	C01	76,69	701,63				
23_6280/FSW40707	SG130	C01	227,19	2031,73				
24_6348/FSW40724	SG184	C01	61,75					
27_6861/FSW40797	SG93	C01	80,97					
31_7520/FSW40875	SG127	C01	162,56	1988,18				
36_8434/FSW41001	SG127	C02	26,05					
31_7525/FSW40880	SI20	C01	51,03					
34_8147/FSW40936	SI45	C01	91,94	991,05				
35_8259/FSW40960	SI37	C01	77,73					
35_8264/FSW40965	SNL03	C02			129,08	110,07	100,99	51,85
35_8267/FSW40968	SG183	C01	24,39					
46_1086/FSW50095	SM36	C01	57,59					
57_2847/FSW/0286	INT75	C01	26,61					

Gli Hot spot rinvenuti nelle acque di Falda sono riportati nella tabella qui di seguito, mentre l'ubicazione è riportata in Allegato 8f (Raffineria) e Allegato 8p (Darsene).

**Tabella 9.2: Hot spot nelle acque di falda**

Chain	Siga campione	Piezometro	Arsenico	Benzene	Toluene
Unità di misura			µg/l	µg/l	µg/l
75	5855/FSW50487	PA01	152,20	360,00	
65	5456/FSW50448	PZ 118		16,81	
76	5879/FSW50495	PQ04		2588,00	5842,00
79	5950/FSW50506	PZ H		12,04	
79	5954/FSW50510	PZ L		640,00	

Con riferimento agli hot spot di cui sopra, l'adozione di eventuali misure di Messa in Sicurezza di Emergenza è stata valutata a seguito di un'indagine sito specifica, svolta dall'Università La Sapienza di Roma su incarico della Raffineria di Livorno.

L'indagine sito specifica per le sostanze volatili è stata svolta mediante verifica dell'eventuale superamento dei limiti normativi vigenti di esposizione professionale, ovvero dei TLV/TWA. La Relazione Tecnica riportante i risultati dell'Indagine e le metodiche utilizzate dall'Università La Sapienza di Roma è riportata in Allegato 9.

Come si evince dalla suddetta Relazione Tecnica, le analisi mostrano che le concentrazioni aerodisperse dei suddetti analiti (IPA, Benzene e Toluene) in prossimità delle posizioni in cui sono stati effettuati i campionamenti di terreno risultano del tutto compatibili con la realtà impiantistica nella quale sono situate e sono assolutamente irrilevanti da un punto di vista dell'esposizione dei lavoratori e rispecchiano le concentrazioni di fondo ambientale.

L'indagine sito specifica per le sostanze volatili, svolta mediante verifica dell'eventuale superamento dei limiti normativi vigenti di esposizione professionale, ovvero dei TLV/TWA, è stata effettuata per quanto riguarda le acque di falda unicamente nei piezometri denominati PZH e PZL. Per i piezometri PQ04, PZ118 e PA01 sono in corso

di esecuzione le azioni di preparazione per le attività di Messa in Sicurezza di Emergenza mediante installazione di pompe elettrosommerse per l'emungimento di acqua falda.

---

Luglio 2005  
Rev. 0

Eni S.p.A. – Div. R&M - Raffineria di Livorno  
Eni S.p.A. – Div. R&M - STAP  
EniPower S.p.A. – Stabilimento di Livorno  
Relazione Tecnica Descrittiva delle attività di  
Caratterizzazione Ambientale

85 di 90

*Contratto FWIENV n° 1-BH-0209-*

## 10. MESSA IN SICUREZZA DI EMERGENZA

Sulla base delle risultanze dello Studio svolto dall'Università la Sapienza, non vi è la necessità di svolgere attività di Messa in Sicurezza di Emergenza a protezione dei lavoratori operanti sul sito.

Sulla base delle caratteristiche di contaminazione del sito (estensione e magnitudo) e delle direzioni prevalenti di falda che risultano convergere nella maggior parte dei casi verso l'interno dello stesso, non si evidenziano situazioni di esportazione di contaminazione al di fuori del sito stesso.

Tuttavia, poiché sono presenti isolate non conformità in prossimità del confine di stabilimento, sono previsti, a scopo puramente preventivo e precauzionale, interventi di Messa in sicurezza di emergenza lungo il confine di stabilimento finalizzati a impedire l'eventuale esportazione di contaminazione all'esterno del sito stesso.

Tali interventi di Messa in Sicurezza di Emergenza sono in corso di attuazione e prevedono l'installazione di sistemi di emungimento di acqua di falda nei seguenti piezometri:

- MW3
- PZ118
- PA01
- PQ04
- PP02

Si sottolinea che in area Ex Italoil l'attività di emungimento dal piezometro MW3 è già in corso (come da comunicazione Italoil al Minamb del 19/11/2003 in seguito alla richiesta

di messa in sicurezza d'emergenza della falda nel Verbale della CdS decisoria del 05/11/03).

Eni S.p.A. Divisione Refining & Marketing - Raffineria di Livorno, Eni S.p.A. Divisione Refining & Marketing – STAP Livorno ed EniPower S.p.A. – Stabilimento di Livorno, realizzeranno uno specifico impianto di Trattamento Acque di falda (TAF) per il trattamento delle acque che saranno emunte nell'ambito delle attività di di Bonifica della falda e di Messa in Sicurezza; tale impianto sarà meglio descritto nel Progetto Preliminare di Bonifica della falda. Le acque di falda, opportunamente pre-trattate nell'impianto TAF, verranno riutilizzate all'interno dello Stabilimento stesso riducendo, in quantità equivalente, l'acquisto di acqua per uso industriale, come previsto dal Decreto del Ministero dell'Ambiente 185/03 (Articolo 3). Nelle more della approvazione dei Progetti e della realizzazione di tale impianto TAF, le acque emunte dai sistemi di MISE saranno smaltite presso impianti autorizzati alla gestione dei rifiuti ai sensi del Dlgs. 22/97. In tale ambito, al fine di ottimizzare la gestione delle acque di falda emunte, Eni S.p.A. Divisione Refining & Marketing - Raffineria di Livorno, chiederà all'Ente competente, Provincia di Livorno, autorizzazione ai sensi del Dlgs. 22/97 per il trattamento delle acque di falda emunte provenienti dalle attività di MISE nell'esistente impianto di Trattamento Acque Effluenti (TAE) della Raffineria.

Eni S.p.A. Divisione Refining & Marketing - Raffineria di Livorno ha intenzione di trattare presso l'impianto TAF, di futura costruzione, anche le acque provenienti dalle attività di Messa in Sicurezza di Emergenza/Bonifica dell'attiguo deposito ENI Divisione Refining & Marketing Stabilimento G.p.L.

Nei piezometri dove si è rilevata la presenza di prodotto surnatante, saranno attuati interventi di Messa in Sicurezza di Emergenza mediante installazione di sistemi di emungimento di prodotto surnatante. I piezometri oggetto di tale intervento sono:

- PP02

- PI02
  
- PI01

Il prodotto emunto verrà convogliato in apposite cisternette in prossimità del piezometro, per poi essere smaltito o recuperato ai sensi del DLgs 22/97.

In prossimità dei piezometri PI02 e PI01 verrà installato un sistema che provvederà a recuperare solo prodotto. In prossimità del piezometro PP02 ubicato in Darsena Ugione verrà invece installato un sistema che provvederà ad emungere sia la fase acquosa che il prodotto surnatante.

Come riportato in precedenza è stato rinvenuto prodotto surnatante anche in prossimità del piezometro PZ115. Tale prodotto surnatante è molto denso e difficilmente pompabile, pertanto Eni S.p.A. Divisione Refining & Marketing - Raffineria di Livorno ritiene opportuno realizzare nell'intorno del piezometro stesso alcuni saggi esplorativi con escavatore al fine di circoscrivere l'area interessata da prodotto. Una volta individuata l'estensione della zona si procederà all'asportazione della fase libera presente nel sottosuolo e allo smaltimento della stessa ai sensi del 22/97, di concerto con gli Enti di Controllo preposti.

L'ubicazione delle opere di Messa in Sicurezza di Emergenza previste sono riportate in Allegato 8t e 8u.

Si riportano qui di seguito le portate di emungimento stimate di acqua di falda per ciascun piezometro di prevista Messa in Sicurezza di Emergenza.



**Tabella 10.1: Piezometri perimetrali (Raffineria di Livorno) sottoposti a MISE**

Piezometri perimetrali da emungere	Portata di emungimento max prevista (mc/h)
MW3	0,25
PA01	1,5 - 2
PZ118	0,5
<b>Totale 2,75 mc/h</b>	

**Tabella 10.2: Piezometro (Darsena Ugione) sottoposto a MISE**

Piezometri perimetrali da emungere	Portata di emungimento max prevista (mc/h)
PP02	0,35

**Tabella 10.3: Piezometro (Darsena Petroli) sottoposto a MISE**

Piezometri perimetrali da emungere	Portata di emungimento max prevista (mc/h)
PQ4	0,25

Le portate indicate saranno comunque verificate in fase di avviamento delle attività di MISE e di conseguenza ottimizzate in funzione dei monitoraggi eseguiti.

## 11. AREE DI PRIMO INTERVENTO STRALCIATE

Nelle Aree interne di Stabilimento, ENI S.p.A. Div. R&M ed EniPower S.p.A. hanno individuato n° 8 aree di primaria importanza dal punto di vista della produttività degli impianti nelle quali sono stati previsti degli interventi di revamping di strutture esistenti o la costruzione di nuove unità.

Sono stati pertanto presentati n° 4 documenti, approvati nel corso della CdS del 10/02/05, in cui sono state descritte le attività di caratterizzazione svolte e presentati i risultati analitici ottenuti.

In particolare, n° 3 delle suddette aree hanno mostrato evidenze di contaminazione per cui è stato predisposto e presentato il documento Relazione tecnica descrittiva con Intervento di Messa in Sicurezza di Emergenza. Successivamente con lettera RAFLIDIR61/47/FQ, nel luglio 2005, è stata inviata alle PP.AA. la Relazione conclusiva delle attività di Messa in sicurezza delle Aree n° 6 e n° 7.

Per le rimanenti 5 aree si è evidenziata la totale conformità ai limiti normativi nella Relazione tecnica Descrittiva – delle aree di primo intervento n° 3, 8,10, 12 e 13, con la conseguente richiesta, di liberalizzazione per l'esecuzione degli interventi previsti.

Successivamente in sede di Conferenza di Servizi Decisoria, ex art.14 della legge n.241/90, del 24/03/2005, è stato deliberato di restituire agli usi legittimi le aree n° 3, 8,10, 12 e 13, a condizione che le opere previste nelle aree medesime non pregiudichino la possibilità di effettuare eventuali interventi di messa in sicurezza d'emergenza e di bonifica della falda.

In Allegato 1e è riportata l'ubicazione delle n° 8 aree di primo intervento derubricate.