

**Cliente** Enel S.p.A. - Divisione Generazione ed Energy Management  
Unità di Business di Sulcis

**Oggetto** Piano di Caratterizzazione della centrale Turbogas di Assemini (CA)

**Ordine** Accordo Quadro Enel-Cesi n. 8400006584  
Attingimento 4000180104 del 08-05-2008  
Lettera A8015509

**Note** AG07INT013

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

**N. pagine** 48                                      **N. pagine fuori testo** N. 5 Tavole

**Data** 28/05/2008

**Elaborato** R. Garavaglia, D. Lattuada

**Verificato** R. Vitali

**Approvato** L. Ferrari

## *Indice*

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE DEL SITO, ATTUALE E STORICA .....</b>	<b>5</b>
2.1	Collocazione geografica .....	5
2.2	Tipologia dei processi.....	7
2.3	Storia dell'impianto .....	8
2.4	Descrizione dell'impianto.....	8
2.5	Attività, operazioni e sostanze rilevanti per l'ambiente.....	10
2.5.1	Movimentazione e stoccaggio combustibili .....	10
2.5.2	Trattamento acque reflue.....	14
2.5.3	Stoccaggio oli lubrificanti.....	15
2.5.4	Apparecchiature contenenti PCB.....	15
2.5.5	Deposito rifiuti contenenti PCB .....	15
2.5.6	Trasformatori.....	16
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO AMBIENTALE DEL SITO.....</b>	<b>18</b>
3.1	Assetto geografico-territoriale .....	18
3.2	Inquadramento geologico e geomorfologico .....	18
3.2.1	Assetto regionale .....	18
3.2.2	Assetto del sito .....	18
3.3	Assetto idrogeologico.....	19
3.3.1	Assetto regionale .....	19
3.3.2	Assetto del sito .....	19
3.4	Obiettivi di recupero dell'area in funzione dei riferimenti normativi e della destinazione d'uso	20
<b>4</b>	<b>MODELLO CONCETTUALE PRELIMINARE .....</b>	<b>24</b>
4.1	Sintesi delle caratteristiche dell'ambiente con cui il sito interagisce .....	24
4.2	Individuazione dei potenziali centri di pericolo .....	24
4.3	Sintesi delle caratteristiche idrogeologiche del sito .....	25
	<b>PIANO DI INVESTIGAZIONE INIZIALE .....</b>	<b>26</b>
4.4	Impostazione metodologica .....	26
4.4.1	Numero e caratteristiche dei punti di indagine.....	27
4.4.2	Frequenza dei prelievi in senso verticale .....	28
4.4.3	Parametri da determinare .....	28
4.4.4	Restituzione dei risultati.....	29
4.5	Modalità di indagine in campo.....	29
4.5.1	Esecuzione dei sondaggi geognostici.....	29
4.5.2	Prove di permeabilità tipo Lefranc .....	31
4.5.3	Installazione di piezometri .....	32
4.5.4	Prelievo di campioni di terreno mediante sondaggi a carotaggio continuo.....	32
4.5.5	Prelievo di campioni di terreno superficiale (top-soil) .....	33
4.5.6	Misure freaticmetriche e campionamento delle acque di falda.....	33
4.5.7	Prelievo di campioni di acque di falda.....	34
4.5.8	Misure in sito di parametri di qualità dell'acqua .....	34
4.6	Metodi per le analisi chimiche di laboratorio .....	35
4.6.1	Campioni di terreno .....	35

4.6.2	Campioni di acqua.....	41
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>46</b>

**TAVOLE FUORI TESTO**

**Tot. pagg. 50**

## STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	28/05/2008	A8015506	prima emissione

### 1 PREMESSA

La centrale Enel Turbogas di Assemini (CA) ricade all'interno del Sito di Interesse Nazionale del Sulcis-Iglesiente-Guspinese, come risulta dalla perimetrazione specificata nel successivo Decreto Ministeriale del 12 marzo 2003. Essa è pertanto inserita nel programma nazionale di bonifica e ripristino ambientale dei siti inquinati, soggetti ad interventi di interesse nazionale, mediante la Legge n° 426 del 9 dicembre 1998.

Il settore delle bonifiche è stato normato per la prima volta in modo organico dall'articolo 17 del Decreto Legislativo del 5 febbraio 1997, n. 22 (Decreto Ronchi). Il regolamento tecnico richiesto da tale provvedimento normativo si esplicitava con il Decreto Ministeriale del 25 ottobre 1999, n. 471 "*Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica ed il ripristino ambientale dei siti inquinati*". In tale DM venivano stabiliti i criteri, le modalità e le procedure per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati e venivano fissati i limiti di accettabilità della contaminazione dei suoli, il cui superamento obbliga ad effettuare interventi di bonifica. Più recentemente, la normativa di riferimento per la bonifica dei terreni contaminati a livello nazionale, precedentemente costituita dai citati D. Lgs. n° 22 del 5 febbraio 1997 e dal relativo Regolamento Attuativo D.M. n° 471/99, è stata sostituita dai disposti della parte IV del D.lgs.152/2006. Tale Decreto definisce, in relazione alla specifica destinazione d'uso del sito, due livelli di concentrazione soglia di contaminazione (CSC) per gli inquinanti organici ed inorganici nel terreno, il cui superamento richiede un'analisi di rischio sito-specifica. I valori di CSC per le sostanze presenti nel suolo e sottosuolo si differenziano in base alla destinazione d'uso e sono indicati nell'allegato 5 tabella 1 allo stesso D.lgs.152/2006:

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

A queste indicazioni normative si aggiunge l'articolo 1 della L. del 9 dicembre 1998, n. 426 "*Nuovi interventi in campo ambientale*", in cui si individuano aree industriali e siti ad alto rischio ambientale su cui attuare i primi interventi di "interesse nazionale".

A seguito di quanto sopra, Enel S.p.A. è soggetto obbligato a predisporre un Piano di Caratterizzazione per l'area di sua proprietà, in conformità a quanto prescritto dal D. Lgs. 152/2006 per la cui redazione ha dato incarico a CESI S.p.A..

Il Piano della Caratterizzazione elaborato nel presente documento è articolato nelle seguenti sezioni:

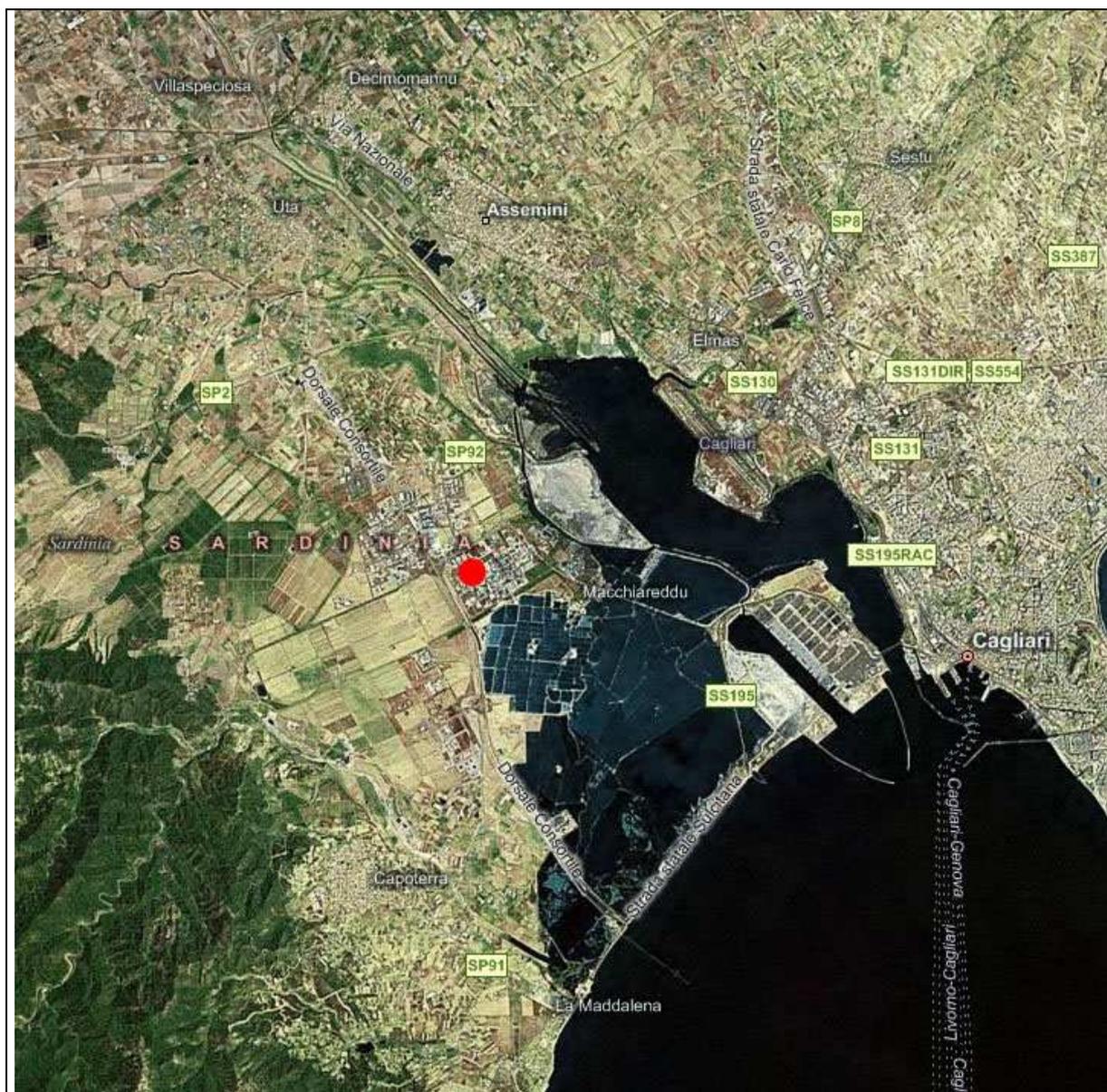
- descrizione del sito attuale e storica;
- caratterizzazione ambientale del sito;
- formulazione preliminare del Modello Concettuale;
- piano di investigazione iniziale.

## 2 DESCRIZIONE DEL SITO, ATTUALE E STORICA

### 2.1 Collocazione geografica

La Centrale Elettrica Enel Turbogas di Assemmini ubicata nel comune di Assemmini (provincia di Cagliari) è inserita nell'area industriale di Macchiareddu-Grogastu, in una località tra la Seconda Strada e l'Asse Dorsale Consortile. Il sito è inserito nell'area del Consorzio per l'Area di Sviluppo Industriale di Cagliari (CASIC), a circa 4,5 km dal centro abitato,

La collocazione geografica del sito è mostrata nella Figura 1 e, con maggior dettaglio, nella corografia della Tavola 1.



*Figura 1: collocazione geografica della centrale Turbogas di Assemmini*

L'area di sviluppo industriale di Cagliari, gestita dal CASIC è costituita da tre agglomerati industriali, tra i quali l'area di Macchiareddu, destinata alle grandi e medio-piccole industrie, che interessa una superficie di 8.350 ettari.

La centrale confina a:

**Nord**

- Lisar (lavanderia industriale);
- Autodelta S.r.l. (commercio veicoli industriali);
- Procamion S.r.l. (autofficina e autorimessa);
- Sartech – Saras Tecnologie S.p.A. (laboratorio chimico e attività di ricerca);

**Nord – Est**

- So.Co.Mar. (officina di manutenzione meccanica);
- Ecobonifiche (bonifiche serbatoi);
- A. M. Ges. Costr. S.r.l. (costruzioni metalliche);

**Est**

- Stazione di Trasformazione di Terna S.p.A.;
- Officine Metalmeccaniche Italia s.r.l. (fonderia metalli lavorati);

**Sud e Sud - Est**

- Insedimento industriale SYNDIAL (ex-Enichem);

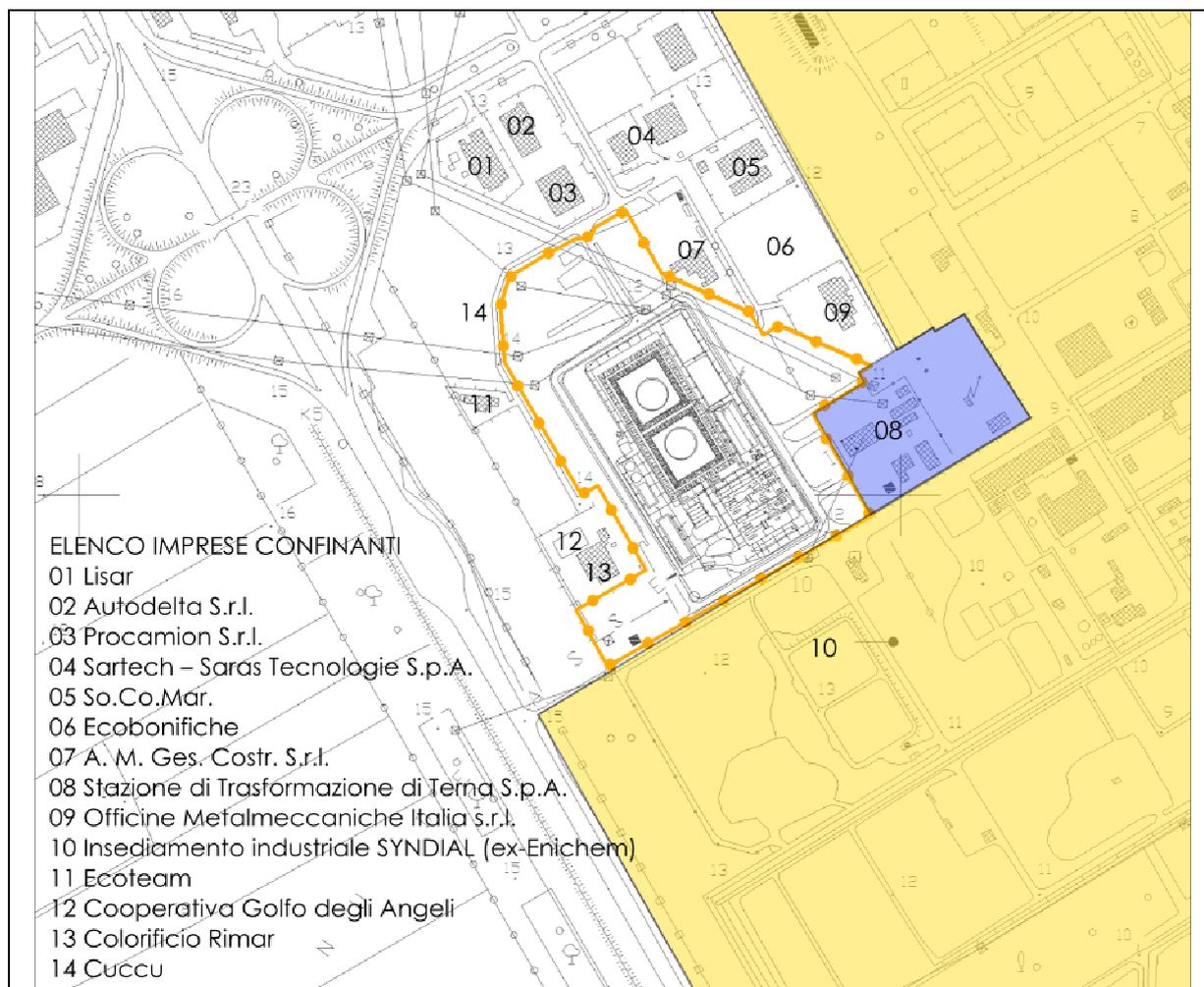
**Ovest**

- Ecoteam (gestione e stoccaggio rifiuti);
- Cooperativa Golfo degli Angeli (deposito attrezzature da spiaggia);
- Colorificio Rimar (deposito materiali per l'edilizia);

**Nord - Ovest**

- Cuccu (autotrasporti);

Questa disposizione delle proprietà confinanti è illustrata nella figura seguente.



*Figura 2: ubicazione del sito e delle imprese confinanti*

L'estensione dell'area di proprietà di Enel S.p.A., identificata in catasto del Comune di Assemini al Foglio 55 Particella 293, è di **137.284 m<sup>2</sup>** a seguito del frazionamento del 13/01/2000 n. 89.1/2000 in atti dal 02/02/2001 (Prot. N. 37789), l'esatto perimetro è evidenziato nella Tavola 3.

L'isola produttiva, nella quale sono racchiusi gli impianti e ogni loro pertinenza, occupa una superficie di poco superiore a **57.000 m<sup>2</sup>** e risulta fisicamente separata dalla restante porzione del terreno di proprietà Enel dalla recinzione anti-intrusione, che presenta come unico varco il cancello di ingresso presidiato da guardiana.

Il sito si presenta pianeggiante, con una quota media di circa 11 m s.l.m. ed è costituito, nelle aree non occupate da fabbricati o impianti, da aree per lo più asfaltate o pavimentate e con alcune zone a verde.

## 2.2 Tipologia dei processi

La Centrale di Assemini produce energia elettrica per mezzo della trasformazione del calore prodotto dalla combustione in energia meccanica e quindi in energia elettrica.

Queste trasformazioni avvengono facendo espandere i gas prodotti dalla combustione all'interno di turbine collegate ad alternatori, in macchine chiamate turbogas, permettendo quindi la trasformazione parziale del calore in energia meccanica. Il ciclo termico è caratterizzato da una fase di compressione dell'aria, una fase di combustione, una fase di espansione in turbina ed infine una fase di scarico dei fumi all'ambiente, a temperatura superiore ai 500°C. Il rendimento del processo è pari a circa il 29%.

I gruppi turbogas, in virtù dei tempi di avviamento ridotti (circa 30 minuti da macchina ferma a pieno carico) sono previsti per coprire le punte di richiesta di energia elettrica, con una durata di utilizzazione annua ridotta, anche se sono adatti ad un funzionamento continuo.

I gruppi sono in grado di avviarsi anche senza alimentazione esterna dalla rete.

Le turbine a gas sono caratterizzate dal fatto che il fluido motore si rinnova continuamente, non richiedendo un sistema di raffreddamento; i prodotti della combustione, dopo aver terminato l'espansione nella turbina, vengono immessi direttamente nell'atmosfera, unitamente all'aria in eccesso aspirata dal compressore.

La Centrale di Assemini è composta da due gruppi turbogas da 88 MW nominali cadauno, in grado di utilizzare come combustibile il solo gasolio.

### 2.3 Storia dell'impianto

Il terreno su cui sorge l'attuale stazione di trasformazione è stata originariamente acquistata da Enel Produzione S.p.A., dal precedente proprietario che, dagli atti di registrazione, risultavano avere ragione sociale Consorzio CASIC (12/07/1989).

Il progetto della centrale turbogas di Assemini è stato concepito nel quadro del Piano Energetico nazionale 1989 per rendere disponibile energia elettrica alla Sardegna che, ai tempi, risultava ampiamente deficitaria, creando problemi anche alle linee di trasmissione dal continente durante le punte di richiesta, oltre che per l'esigenza di poter garantire il riavviamento della rete in caso di black-out.

La costruzione dell'impianto è iniziata nel 1991 (Autorizzazione MICA del 02/07/1991) e l'impianto è entrato in esercizio nel dicembre 1992.

La configurazione impiantistica è rimasta sostanzialmente immutata nel corso degli anni.

### 2.4 Descrizione dell'impianto

L'impianto è costituito da due circuiti monoblocco, ciascuno composto da un gruppo turbogas comprendente un compressore aria, una camera di combustione, una turbina a gas e una alternatore coassiale alla turbina. Un trasformatore per ogni alternatore eleva la tensione della corrente elettrica generata al livello richiesto dalla rete di trasmissione (trasformatori in AT – 150 KV), a cui la centrale è collegata tramite cavi in cunicolo interrato che la uniscono alla adiacente Stazione Elettrica Rumianca, attualmente di proprietà di Terna S.p.A.. La centrale è collegata alla stazione anche mediante un trasformatore in media tensione (MT – 15 KV) per l'alimentazione in ingresso dei servizi ausiliari.

Ogni turbogruppo è alloggiato su una struttura di contenimento in calcestruzzo (vassoio) ed è costituito da una serie di cabinati metallici in cui sono installate le varie apparecchiature dalle quali i cabinati prendono il nome. Coassialmente al complesso compressore-turbina si trova l'alternatore, raffreddato ad aria, da 88 MW nominali, alloggiato in cabinato a se stante. In un ulteriore cabinato è installato il diesel di lancio con la relativa linea d'assi costituita da moltiplicatore di giri e convertitore di coppia. Ciascun turbogas è corredato di altri due cabinati contenenti quadri di comando e controllo apparecchiature ausiliarie.

Il processo di produzione è integrato da impianti, dispositivi ed apparecchiature ausiliarie che assicurano il funzionamento del processo stesso: sistemi di illuminazione, di condizionamento, di telecomunicazione, antincendio, di strumentazione e circuiti per i servizi e i comandi, di rete idrica e fognature.

Completano l'impianto:

- il parco combustibile costituito da diversi serbatoi e impianti di movimentazione, come meglio descritto nel paragrafo seguente;
- il sistema antincendio automatizzato con relativi serbatoi di scorta acqua (2 serbatoi da 1.500 m<sup>3</sup>);
- il fabbricato stazione antincendio;
- un gruppo elettrogeno di emergenza da 700 KVA, ubicato nell'edificio antincendio, per assicurare l'alimentazione dei servizi di emergenza;

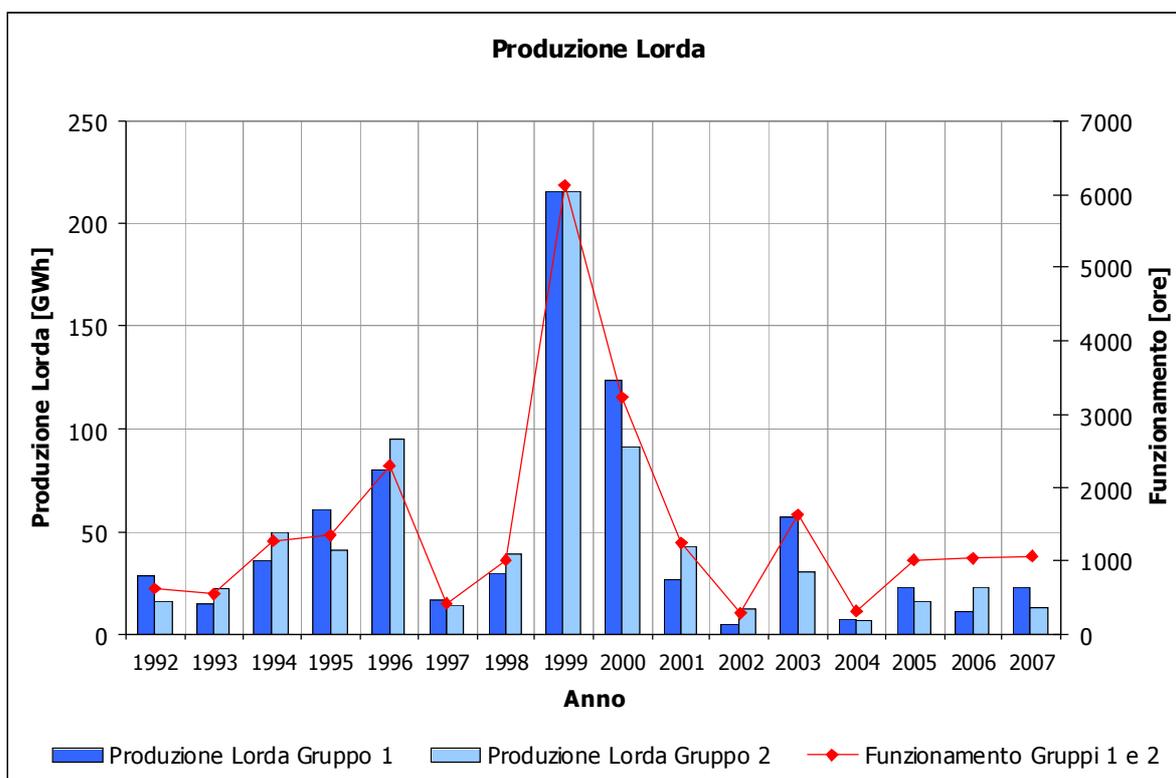
- edificio servizi generali;
- quattro rampe di scarico autobotti;
- un deposito olio lubrificanti in fusti;
- l'impianto trattamento acque reflue (ITAR) e relativo serbatoio di stoccaggio olio, come meglio descritto nel paragrafo seguente;
- la pesa a ponte e relativo chiosco;
- i camini dei turbogas, di costruzione metallica, alti circa 18 m.

I servizi generali di centrale sono alimentati da una linea a Media Tensione, attraverso la rete elettrica di Enel Distribuzione.

La centrale è prevista per funzionamento non presidiato, telecomandata e gestita dal posto di teleconduzione di Sulcis.

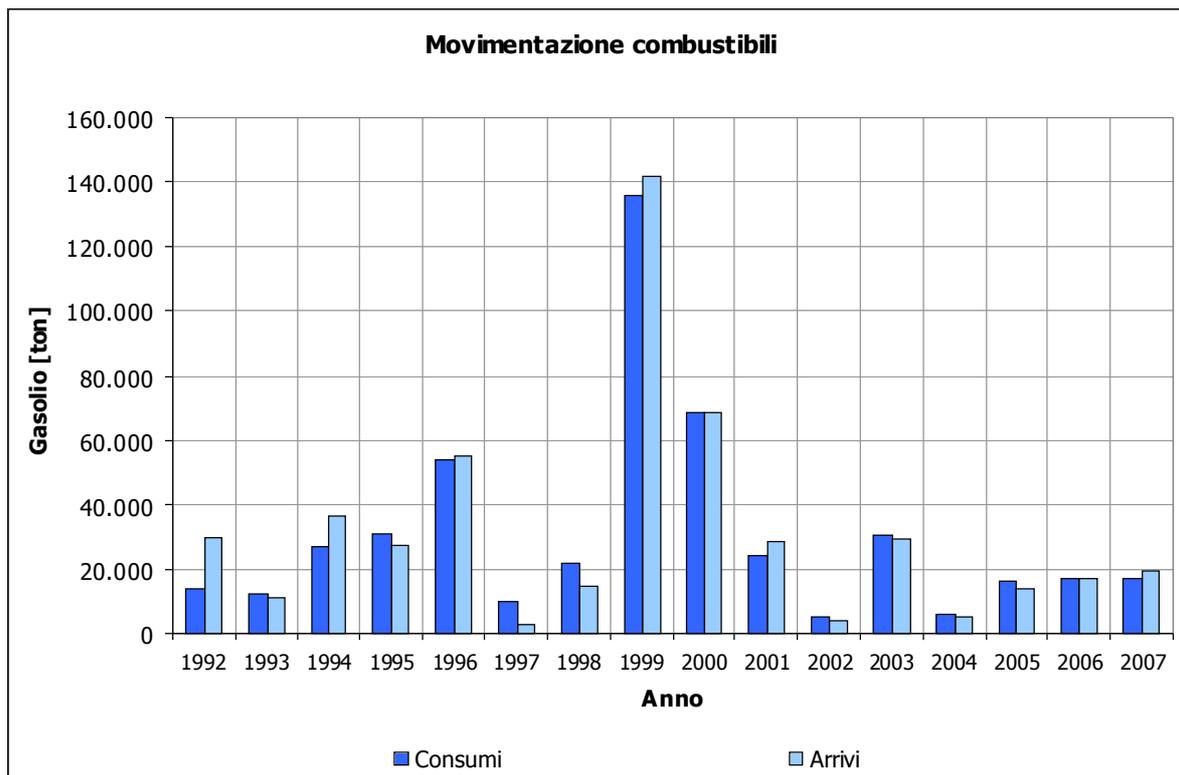
I gruppi sono destinati ad una utilizzazione annua ridotta e funzionamento intermittente con frequenti avviamenti e fermate. I gruppi sono generalmente fermi, fatti salvi i gli avviamenti settimanali per prove di funzionamento di circa 2 ore.

Nella figura seguente è riportato l'andamento della produzione lorda di energia elettrica dei singoli gruppi e le ore complessive di funzionamento per il periodo 1992-2007.



**Figura 2:** Produzione lorda di energia elettrica e ore di funzionamento (1992-2007)

Nella figura seguente è riportato l'andamento della movimentazione di gasolio nel il periodo 1992-2007.



**Figura 2:** *Movimentazione dei combustibili (1992-2007)*

## 2.5 Attività, operazioni e sostanze rilevanti per l'ambiente

In generale, le attività rilevanti per l'ambiente connesse con il ciclo produttivo, sono:

- la movimentazione e lo stoccaggio del combustibile
- la raccolta e trattamento delle acque meteoriche potenzialmente inquinabili da oli

Questa attività sono rilevanti in termini soprattutto quantitativi; tutte le altre sostanze utilizzate nel processo produttivo e/o i rifiuti prodotti si possono considerare marginali, dati i loro ridotti quantitativi e le adeguate condizioni d'uso/stoccaggio/smaltimento, e individualmente non costituiscono un significativo rischio potenziale per l'ambiente, pregresso o attuale.

### 2.5.1 Movimentazione e stoccaggio combustibili

Il parco combustibile è costituito dai serbatoi di stoccaggio del gasolio e dagli impianti connessi (pompe e tubazioni) necessari alla sua movimentazione, in particolare:

- serbatoio cilindrico fuori terra, in acciaio, ad asse verticale e tetto galleggiante da 15.350 m<sup>3</sup> (equivalente a 12.894 t) denominato AC 1;
- serbatoio cilindrico fuori terra, in acciaio, ad asse verticale e tetto galleggiante da 15.350 m<sup>3</sup> (equivalente a 12.894 t) denominato AC 2;
- serbatoio cilindrico interrato, in acciaio, ad asse orizzontale da 100 m<sup>3</sup> (84 t), denominato AC 3, per il travaso del combustibile delle autobotti e dotato di tubo piezometrico che in caso di troppo pieno scarica all'interno del bacino di contenimento dei serbatoi di stoccaggio;
- serbatoio interrato, in acciaio, ad asse orizzontale da 50 m<sup>3</sup> (42 t) per lo stoccaggio del gasolio per l'alimentazione dei diesel di lancio dei gruppi 1 e 2 e diesel di emergenza;
- n. 2 serbatoi in acciaio fuori terra da 4 m<sup>3</sup> per i diesel lancio (complessivamente pari a 6,72 t), alloggiati all'interno del cabinato dei diesel di lancio a sua volta contenuto all'interno del vassoio di ciascun turbogruppo;

- n. 2 serbatoi in acciaio fuori terra da 1,5 m<sup>3</sup> (complessivamente pari a 5 t) per le motopompe antincendio alloggiati in una vasca in calcestruzzo in accosto al muro esterno dell'edificio antincendio;
- n. 1 serbatoio in acciaio fuori terra da 0,5 m<sup>3</sup> (0,4 t) per diesel di emergenza, alloggiato in una vasca di contenimento in calcestruzzo a sua volta contenuto all'interno del vassoio del turbogruppo 1;
- tettoia pompe trasferimento con relative apparecchiature;
- rampe scarico autobotti.

L'impianto di riscaldamento dell'edificio servizi generali, essendo alimentato dalle pompe di calore installate, non necessita di combustibile e perciò non sono presenti serbatoi.

Il gasolio viene approvvigionato mediante autocisterne, depositato in serbatoi e inviato in camera di combustione mediante sistemi di pompe e tubazioni.

Le autocisterne vengono scaricate presso quattro rampe di scarico; la zona rampe di scarico è pavimentata in pendenza e dispone di canale di recupero convogliato all'impianto ITAR.

Il gasolio viene trasferito per caduta al serbatoio interrato da 100 m<sup>3</sup> attraverso una tubazione in cunicolo ispezionabile. Da qui, il gasolio viene rilanciato mediante pompe ai due serbatoi di stoccaggio mediante tubazioni fuori terra in Pipe-Rack. Le operazioni di caricamento dei serbatoi di stoccaggio possono essere effettuate sia in automatico sia in manuale, ma in ogni caso sotto il controllo del personale di centrale.



**Figura 2:** rampe di scarico autobotti

I serbatoi di stoccaggio sono alloggiati entro bacini di contenimento con argini in terra e fondo rivestiti in cemento armato impermeabilizzato, dimensionato per raccogliere l'intero contenuto. All'interno di ogni singolo bacino sono presenti un canale perimetrale e il trincarino in cemento installato alla base dei serbatoi per la raccolta delle acque meteoriche che vengono convogliate all'impianto ITAR, tramite rete fognaria separata.



**Figura 3:** serbatoi di stoccaggio e relativo bacino di contenimento

Dai serbatoi AC 1 e AC 2, il gasolio è pompato sul circuito del combustibile dei turbogruppi; la movimentazione avviene attraverso due elettropompe installate sotto una apposita tettoia e alloggiata su platea in CLS dotata di cordolo di contenimento.



**Figura 5:** tettoia pompe trasferimento gasolio

Il trasferimento del combustibile dalle pompe ai serbatoi e dalle pompe ai bruciatori dei gruppi turbogas avviene attraverso tubazioni fuori terra o alloggiata in un apposito Pipe-Rack sopraelevato.



**Figura 7:** tubazioni fuori terra per il trasferimento del combustibile

L'ubicazione di dettaglio dei diversi componenti del parco combustibili (serbatoi di stoccaggio e impianti connessi) è riportata nella Tavola 2.

### 2.5.2 *Trattamento acque reflue*

Tutte le acque meteoriche vengono considerate potenzialmente inquinabili da oli e vengono raccolte da una rete di fognatura indipendente che le convoglia al sistema di trattamento per l'eliminazione degli oli. In particolare, a questa rete di fognatura risultano collegati:

- i bacini dei serbatoi;
- le rampe scarico autobotti;
- le aree sottostanti le tettoie dove sono ubicate le elettropompe;
- i vassoi dei gruppi.

Le acque inquinabili da oli vengono convogliate, per gravità, alla vasca di disoleazione.

L'eventuale miscela acqua/olio sfiorata dalla vasca di disoleazione, equipaggiata con separatori a pacchi lamellari, viene in seguito inviata a mezzo pompa ad un serbatoio di separazione per il recupero dell'olio. L'impianto di disoleazione ha funzionamento automatico; le fasi di recupero dell'olio dal serbatoio di separazione e dalla vasca di raccolta sono comandate manualmente.

Gli elementi che costituiscono l'impianto sono:

- vasca di disoleazione, interrata a cielo aperto, di forma parallelepipedica con pavimentazione in calcestruzzo armato, impermeabilizzato mediante membrana in polietilene ad alta densità. La capacità di 2.000 m<sup>3</sup> con dimensioni 53x27x4,3;
- sistema di separazione con dispositivo DISCOIL, separatore a pacchi lamellari e relative pompe;
- vasca parallelepipedica del tipo a cielo aperto da 5 m<sup>3</sup>, per il raffinamento della separazione degli oli;
- serbatoio per la raccolta degli oli separati in acciaio del tipo cilindrico verticale a cielo aperto, della capacità di 60 m<sup>3</sup>.

Dopo il trattamento, la acque vengono inviate al collettore consortile che convoglia la acque reflue al depuratore del CASIC.



**Figura 9:** Impianto Trattamento Acque Reflue

Le acque sanitarie provenienti dai servizi igienici e dalle docce degli spogliatoi della centrale vengono raccolti in un reticolo fognario separato che le convoglia direttamente allo stesso collettore CASIC.

### **2.5.3 Stoccaggio oli lubrificanti**

Il deposito degli oli minerali in fusti è costituito avviene all'interno di una struttura dedicata, costituita da platea di CLS armato, dotata muri di contenimento e coperta da una tettoia metallica, costruita secondo le indicazioni di buona tecnica fornite dalle circolari Ministeriali.



**Figura 8:** deposito olio in fusti

### **2.5.4 Apparecchiature contenenti PCB**

In centrale non sono, né sono state mai presenti apparecchiature contenenti PCB.

### **2.5.5 Deposito rifiuti contenenti PCB**

Presso la centrale non sono mai stati stoccati o smaltiti rifiuti contenenti PCB.

A puro scopo cautelativo era stata richiesta autorizzazione al deposito preliminare di rifiuti contenenti PCB (Autorizzazione N. 511/4 della Regione Autonoma Sardegna del 01/04/2003, scaduta nel 2008).

Il sito per lo stoccaggio è costituito da una vasca in cemento armato, rivestita con piastrelle ceramiche e protetto con tettoia. La quantità limite era di 0,7 tonnellate per un tempo non superiore a 6 mesi.

L'area è limitata da un recinto chiuso, l'accesso è consentito sotto il controllo di personale autorizzato.



**Figura 10:** deposito rifiuti contenenti PCB

### **2.5.6 Trasformatori**

Ogni trasformatore è alloggiato in una vasca di contenimento, sottostante la macchina. Le vasche convogliano l'olio, che dovesse fuoriuscire nel caso di un incidente, direttamente nella vasca di disoleazione.



**Figura 10:** *trasformatore da 100 KVA (160-15 KV)*

### 3 INQUADRAMENTO AMBIENTALE DEL SITO

#### 3.1 Assetto geografico-territoriale

Il sito si colloca in una zona pianeggiante dell'entroterra del golfo di Cagliari, a circa 4 km dallo Stagno di Cagliari, in direzione Nord-Ovest, e fa parte dell'ampia valle compresa tra le colline dell'Iglesiente ad Ovest/Sud-Ovest e del Garrei – Sarrabus a Nord/Nord-Est.

Lo Stagno di Santa Gilla fa parte del sistema dello Stagno di Cagliari, nome con il quale si designa l'intera zona umida (di origine lagunare) che, con un'estensione di circa 4.000 ettari, segna il confine occidentale della città di Cagliari. A seguito degli interventi antropici susseguiti nel corso degli ultimi due secoli, lo stagno risulta ora diviso in tre parti: lo Stagno di Capoterra, alimentato dal Rio Santa Lucia all'estremità sud-occidentale, le Saline Conti Vecchi, alimentate da un'idrovora situata al Ponte Vecchio e, infine, lo Stagno di Santa Gilla, corrispondente all'attuale laguna nella porzione nord-orientale del bacino, che è anche l'unica porzione rimasta in comunicazione col mare.

Il sito della si sviluppa su area pianeggiante collocata alle quote di circa 11 metri sul livello del mare. Al fine di conseguire l'attuale planarità l'area è stata sottoposta a lavori di scavo e riporto.

Il sito è ubicato nel territorio del comune di Assemini (provincia di Cagliari), all'interno del polo industriale di Macchiareddu, in un'area caratterizzata da un'elevato grado di antropizzazione.

I centri abitati più vicini sono Assemini, alla distanza di 6 km in direzione nord, e Capoterra a 5,5 km in direzione sud.

L'area ha conosciuto, ormai da alcuni decenni, un intenso sviluppo di carattere industriale e allo stesso tempo una forte espansione urbanistica.

#### 3.2 Inquadramento geologico e geomorfologico

L'area è localizzata nella piana di Capoterra all'interno di una superficie subpianeggiante che degrada dai rilievi montuosi di Capoterra sino allo Stagno di Santa Gilla, con pendenze attorno al 2 – 4%.

##### 3.2.1 Assetto regionale

L'area è strutturalmente costituita da un basamento paleozoico scistoso-metamorfico e granitico, dalla copertura paleogenica della "Formazione di Cixerri", da vulcaniti andesitiche dell'Oligocene (molto limitate) e da una copertura quaternaria.

In particolare, il Quaternario, sia continentale che marino, è ben rappresentato nel settore Nord-Est della Piana di Capoterra, fino all'area di Macchiareddu. È costituito da alluvioni terrazzate, bruno-rossastre, formate da ciottoli di scisto, porfido, granito, in matrice sabbioso-argillosa, con granulometria molto variabile. Sono di solito ben cementate ed hanno un'potenza tra 1 e 15 metri. Questi depositi affiorano in una estesa superficie che si estende dall'area collinare, a ovest, sino alla zona industriale.

Sono coperte dalle alluvioni più recenti; il contatto tra i due complessi alluvionali avviene in prossimità del rio Santa Lucia e prosegue abbastanza regolarmente in direzione Est fino alla laguna di Santa Gilla.

##### 3.2.2 Assetto del sito

La successione lito-stratigrafica locale dell'area della centrale elettrica, desunta dalle stratigrafie dei sondaggi eseguiti nelle immediate vicinanze, è così riassumibile:

- da 0 a 1,5-2,5 metri da p.c. - materiale di riporto, costituito prevalentemente da ghiaie grosse in matrice sabbiosa;
- da 1,5-2,5 a 15 metri da p.c. – depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi con variabile componente sabbiosa e/o limoso-argillosa, localmente alternati a livelli di natura prevalentemente sabbiosa o limoso-argillosa con clasti, secondo successioni che trovano scarsa correlazione tra i diversi sondaggi.

Informazioni reperite in bibliografia suggeriscono che nel sito la successione dei depositi alluvionali si estende almeno fino a profondità dell'ordine di 60-70 m., come segue:

- oltre 20 metri da p.c. - strati argillosi impermeabili che costituiscono il letto della falda freatica;

- oltre i 55 metri - alternanze di depositi argillosi e sabbie, che costituiscono un secondo acquifero, semiconfinato e leggermente in pressione.

### 3.3 Assetto idrogeologico

#### 3.3.1 Assetto regionale

Il bacino del rio Santa Lucia si estende in massima parte sui monti del Sulcis orientale e interessa la pianura del Campidano, in territorio di Capoterra. Esso ricopre una superficie di circa 117 km<sup>2</sup>, i cui limiti sono rappresentati:

- ad Ovest dal Monte Is Cavarius (m 1.113 s.l.m.) e dalla Punta Maxia (m 1.017 s.l.m.),
- a Sud da Monte Is Pancaris Mannu (m 720 s.l.m.),
- a Nord dalle propaggini orientali del Monte Arcosu,
- a Est dalla laguna di Santa Gilla.

Il bacino è suddiviso in due zone nettamente distinte da un punto di vista geomorfologico: nell'area più occidentale, montuosa e che rappresenta il 70% dell'area totale, prevalgono gli scisti e i graniti, mentre nell'area orientale, pianeggiante, nota come "Piana di Capoterra", prevalgono i depositi quaternari rappresentati da alluvioni terrazzate, fortemente arrossate e ben costipate, alluvioni sciolte più recenti, sedimenti fluvio-lacustri e detriti di falda.

Il complesso acquifero, che ha un'estensione areale di 83 km<sup>2</sup>, è costituito principalmente da alternanze di ghiaie e sabbie, con intercalazioni di sabbie argillose ed argille, che danno origine localmente a variazioni di permeabilità.

Le informazioni reperite in bibliografia sembrano evidenziare due acquiferi; la potenza del più superficiale è di diverse decine di metri, quella del più profondo supera in alcuni punti i 150 metri.

Nella zona orientale della pianura, i due acquiferi sono separati da uno strato lenticolare sabbioso-argilloso a bassa permeabilità di potenza variabile tra i 10 e i 25 metri, che sostiene la falda freatica.

Tale lente argillosa, che ha inizio presumibilmente 1 km a Est dell'abitato di Capoterra, ha andamento irregolare ed è rinvenibile fino in prossimità della costa; nel settore occidentale della piana, per una variazione di sedimentazione, essa non è più rinvenibile.

L'acquifero profondo poggia ad Est su un altro substrato argilloso e ad Ovest sul basamento cristallino; nella parte orientale, esso ha carattere semiconfinato e un discreto grado di salienza.

La carta delle isofreatiche elaborata da Pala evidenzia, per il settore sud-orientale della piana, un andamento del flusso sotterraneo orientato in direzione da Ovest verso Est e Sud-Est, rispettivamente dal complesso montuoso di Capoterra verso lo stagno di Cagliari. Inoltre, se ne deduce un aumento della permeabilità che coincide con la transizione tra le alluvioni più antiche e quelle relativamente più recenti. La zona di alimentazione della falda viene localizzata lungo il corso del rio Santa Lucia ed in parte dei suoi affluenti.

I gradienti idraulici, misurati in diverse zone della piana, hanno dato valori compresi tra 1,5 e 3,5 ‰.

Dal punto di vista della idrografia di superficie, la zona di Macchiareddu è caratterizzata dalla presenza dell'importante sistema dello Stagno di Cagliari, costituito da una parte lagunare, detta Stagno di Santa Gilla, e da una parte trasformata dall'uomo in saline. La laguna è separata dal mare da un cordone sabbioso che lascia un'apertura di comunicazione diretta tra i due ambienti.

I principali corsi d'acqua del bacino sono:

- il Fiume Mannu, principale affluente dello Stagno di Santa Gilla che, lungo il suo corso, raccoglie acque di origine agricola e civile;
- il Rio Cixerri, secondo immissario in ordine di importanza di portata, nel quale affluiscono acque derivanti da attività agricole e le acque reflue urbane di numerosi centri abitati.

#### 3.3.2 Assetto del sito

L'idrografia superficiale è caratterizzata da alcuni piccoli corsi d'acqua canalizzati che convogliano le acque piovane verso il mare (a sud) o verso il Rio Cixerri (a nord) e da alcuni rivoli stagionali che si formano durante il periodo delle piogge, secondo linee di deflusso che seguono l'originaria pendenza

delle componenti morfologiche su scala maggiore, nonostante l'elevata antropizzazione dell'area abbia portato ad una sub-planarità a scala locale.

L'assetto idrogeologico locale, desunto da informazioni stratigrafiche di dettaglio relative a sondaggi eseguiti in prossimità del sito, è caratterizzato, coerentemente con il modello regionale della Piana di Capoterra, dalla presenza di un acquifero superficiale e di un acquifero profondo separati da una formazione argillosa.

- l'acquifero superficiale, di spessore variabile tra 20 e 30 m, è costituito da terreni alluvionali e detritici comprendenti alternanze di livelli e lenti di materiali ghiaioso-sabbiosi e di materiali a prevalente componente argilloso-limosa. I termini più permeabili della successione sono sede di falde idriche, assimilabili nel complesso ad una unica falda;
- la formazione argillosa, di spessore variabile tra 15 e 30 metri, è costituita da argille compatte e presenta elevata continuità laterale;
- l'acquifero profondo è caratterizzato da uno schema stratigrafico analogo a quello dell'acquifero superficiale, ma da spessore e potenzialità complessivi presumibilmente più elevati.

Le scarse informazioni reperite indicano che il livello statico della falda freatica nel 1989 si attestava tra 1,5 e 5,5 metri da p.c.. Più recentemente (2007) presso un insediamento confinante, in adiacenza al confine est della proprietà Enel, la stessa falda freatica presentava un livello statico a profondità comprese tra 7 e 9 metri da p.c., con una direzione di scorrimento da Nord verso Sud, e un gradiente molto accentuato, di un ordine di grandezza superiore a quello che caratterizza la piana, che non trova riscontro né nella morfologia di superficie né nell'assetto stratigrafico locale.

Questi elementi sembrano indicare che la falda freatica è localmente soggetta a forti oscillazioni, probabilmente in relazione ad interventi antropici (prelievi idrici, opere e/o manufatti che interferiscono con il deflusso delle acque sotterranee) oltre che al regime meteorologico.

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

La normativa di riferimento per la bonifica dei terreni contaminati a livello nazionale, precedentemente costituita dal D. Lgs. n° 22 del 5 febbraio 1997 (Decreto Ronchi) e dal relativo Regolamento Attuativo DM n° 471 del 25 ottobre 1999, è stata sostituita dai disposti della parte IV del D.lgs.152/2006.

Tale Decreto definisce, in relazione alla specifica destinazione d'uso del sito, due livelli di concentrazione soglia di contaminazione (CSC) per gli inquinanti organici ed inorganici nel terreno, il cui superamento richiede un'analisi di rischio sito-specifica. I valori di CSC per le sostanze presenti nel suolo e sottosuolo si differenziano in base alla destinazione d'uso e sono indicati nell'allegato 5 tabella 1 allo stesso d.lgs.152/2006:

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

Il CASIC è dotato di un Piano regolatore dell'Area Industriale che è stato approvato con decreto del capo del Governo del 10 novembre 1967 ed è stato aggiornato con varianti approvate dalla Regione Sarda. Il Consorzio è quindi provvisto di uno strumento urbanistico proprio con efficacia di piano territoriale di coordinamento. Il Piano regolatore del CASIC destina l'area occupata dalla centrale Enel ad *"agglomerati industriali"*.

Il Piano urbanistico Comunale del Comune di Assemini, individua l'area all'interno della quale ricade la centrale Enel come "zona D4", definita *"zona industriale a pianificazione di Settore – P.A.S.I."*

Considerati gli strumenti urbanistici vigenti, i valori limiti di riferimento sono quelli relativi alla destinazione d'uso industriale o commerciale. Nella tabella seguente, sono riportati i limiti di riferimento per i suoli, relativi ai i parametri di interesse nel caso in esame.

		<b>Dlgs 152/2006 Tab.1 colonna B</b>	
	<b>Parametro</b> <sup>[1]</sup>	<b>C.S.C.</b>	<b>Unità di misura</b>
	<b>Composti inorganici</b>		
1	Antimonio	30	mg/kg
2	Arsenico	50	mg/kg
3	Berillio	10	mg/kg
4	Cadmio	15	mg/kg
5	Cobalto	250	mg/kg
6	Cromo totale	800	mg/kg
7	Cromo VI	15	mg/kg
8	Mercurio	5	mg/kg
9	Nichel	500	mg/kg
10	Piombo	1000	mg/kg
11	Rame	600	mg/kg
12	Selenio	15	mg/kg
13	Stagno	350	mg/kg
14	Tallio	10	mg/kg
15	Vanadio	250	mg/kg
16	Zinco	1500	mg/kg
	<b>Aromatici</b>		
19	Benzene	2	mg/kg
20	Etilbenzene	50	mg/kg
21	Stirene	50	mg/kg
22	Toluene	50	mg/kg
23	Xilene	50	mg/kg
24	Sommatoria organici aromatici (da 20 a 23)	100	mg/kg
	<b>Aromatici Policiclici</b>		
25	Benzo(a)antracene	10	mg/kg
26	Benzo(a)pirene	10	mg/kg
27	Benzo(b)fluorantene	10	mg/kg
28	Benzo(k)fluorantene	10	mg/kg
29	Benzo(g, h, i,)perilene	10	mg/kg
30	Crisene	50	mg/kg
31	Dibenzo(a,e)pirene	10	mg/kg
32	Dibenzo(a,l)pirene	10	mg/kg
33	Dibenzo(a,i)pirene	10	mg/kg
34	Dibenzo(a,h)pirene	10	mg/kg
35	Dibenzo(a,h)antracene	10	mg/kg
36	Indenopirene	5	mg/kg
37	Pirene	50	mg/kg
38	Sommatoria policiclici aromatici (da 25 a 34)	100	mg/kg
	<b>Alifatici clorurati cancerogeni</b>		
39	Clorometano	5	mg/kg
40	Diclorometano	5	mg/kg
41	Triclorometano	5	mg/kg
42	Cloruro di Vinile	0,1	mg/kg
43	1,2-Dicloroetano	5	mg/kg
44	1,1 Dicloroetilene	1	mg/kg
45	Tricloroetilene	10	mg/kg
46	Tetradoroetilene (PCE)	20	mg/kg
	<b>Alifatici clorurati non cancerogeni</b>		
47	1,1-Dicloroetano	30	mg/kg
48	1,2-Dicloroetilene	15	mg/kg
49	1,1,1-Tricloroetano	50	mg/kg
50	1,2-Dicloropropano	5	mg/kg
51	1,1,2-Tricloroetano	15	mg/kg
52	1,2,3-Tricloropropano	10	mg/kg
53	1,1,2,2-Tetracloroetano	10	mg/kg
	<b>Alifatici alogenati cancerogeni</b>		
54	Tribromometano (bromoformio)	10	mg/kg
55	1,2-Dibromoetano	0,1	mg/kg
56	Dibromoclorometano	10	mg/kg
57	Bromodiclorometano	10	mg/kg

		<b>Dlgs 152/2006 Tab.1 colonna B</b>	
	<b>Parametro</b> <sup>[11]</sup>	<b>C.S.C.</b>	<b>Unità di misura</b>
	<b>Dioossine e furani</b>		
92	Sommatoria PCDD, PCDF (conversione T.E.)	$1 \times 10^{-4}$	mg/kg
93	<b>PCB</b>	5	mg/kg
	<b>Idrocarburi</b>		
94	Idrocarburi leggeri C<12	250	mg/kg
95	Idrocarburi pesanti C>12	750	mg/kg
	<b>Altre sostanze</b>		
96	Amianto	1000	mg/kg

**Tabella 2 - Concentrazioni Soglia di Contaminazione nel suolo**  
(colonna B Tab.1 Allegato 5 D.lgs.152/06)

La sopracitata normativa fissa, inoltre, dei valori di Concentrazioni Soglia di Contaminazione nelle acque sotterranee.

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

		<b>Dlgs 152/2006</b>	
	<b>Parametro</b> <sup>[12]</sup>	<b>C.S.C.</b>	<b>Unità di misura</b>
	<b>Metalli</b>		
1	Alluminio	200	µg/L
2	Antimonio	5	µg/L
3	Argento	10	µg/L
4	Arsenico	10	µg/L
5	Berillio	4	µg/L
6	Cadmio	5	µg/L
7	Cobalto	50	µg/L
8	Cromo totale	50	µg/L
9	Cromo (VI)	5	µg/L
10	Ferro	200	µg/L
11	Mercurio	1	µg/L
12	Nichel	20	µg/L
13	Piombo	10	µg/L
14	Rame	1000	µg/L
15	Selenio	10	µg/L
16	Manganese	50	µg/L
17	Tallio	2	µg/L
18	Zinco	3000	µg/L
	<b>Inquinanti Inorganici</b>		
19	Boro	1000	µg/L
20	Cianuri liberi	50	µg/L
21	Fluoruri	1500	µg/L
22	Nitriti	500	µg/L
23	Solfati	250	mg/L
	<b>Aromatici</b>		
24	Benzene	1	µg/L
25	Etilbenzene	50	µg/L
26	Stirene	25	µg/L
27	Toluene	15	µg/L
28	para-Xilene	10	µg/L
	<b>Aromatici Policiclici</b>		
29	Benzo(a)antracene	0.1	µg/L
30	Benzo(a)pirene	0.01	µg/L
31	Benzo(b)fluorantene	0.1	µg/L
32	Benzo(k)fluorantene	0.05	µg/L
33	Benzo(g, h, i)perilene	0.01	µg/L
34	Crisene	5	µg/L
35	Dibenzo(a,h)antracene	0.01	µg/L
36	Indeno(1,2,3,-c,d)pirene	0.1	µg/L

		<b>Dlgs 152/2006</b>	
	<b>Parametro<sup>[12]</sup></b>	<b>C.S.C.</b>	<b>Unità di misura</b>
37	Pirene	50	µg/L
38	Sommatoria policiclici aromatici (31,32,33, 36)	0.1	µg/L
<b>Alifatici Clorurati Cancerogeni</b>			
39	Clorometano	1.5	µg/L
40	Triclorometano	0.15	µg/L
41	Cloruro di Vinile	0.5	µg/L
42	1,2-Dicloroetano	3	µg/L
43	1,1 Dicloroetilene	0.05	µg/L
44	Tricloroetilene	1.5	µg/L
45	Tetradoroetilene (PCE)	1.1	µg/L
46	Esaclorobutadiene	0.15	µg/L
47	Sommatoria Organoalogenati	10	µg/L
<b>Alifatici Clorurati non Cancerogeni</b>			
48	1,1-Dicloroetano	810	µg/L
49	1,2-Dicloroetilene	60	µg/L
50	1,2-Dicloropropano	0.15	µg/L
51	1,1,2-Tricloroetano	0.2	µg/L
52	1,2,3-Tricloropropano	0.001	µg/L
53	1,1,2,2-Tetracloroetano	0.05	µg/L
<b>Alifatici alogenati Cancerogeni</b>			
54	Tribromometano	0.3	µg/L
55	1,2-Dibromoetano	0.001	µg/L
56	Dibromoclorometano	0.13	µg/L
57	Bromodiclorometano	0.17	µg/L
<b>Altre Sostanze</b>			
90	Idrocarburi ( <i>espressi come n-esano</i> )	350	µg/L

**Tabella 3** - Concentrazioni Soglia di Contaminazione per le acque sotterranee  
(Tab.2 Allegato 5 D.lgs.152/06)

## 4 MODELLO CONCETTUALE PRELIMINARE

Il modello concettuale preliminare deve permettere di individuare nel dettaglio le caratteristiche di impianti e strutture presenti, o preesistenti nel sito, correlandole con la loro potenzialità a generare inquinamento nelle diverse matrici ambientali, quali suolo, sottosuolo, atmosfera, acque superficiali e sotterranee.

L'analisi dei dati complessivamente raccolti ha portato alla formulazione del modello concettuale preliminare descritto nei seguenti paragrafi.

### 4.1 Sintesi delle caratteristiche dell'ambiente con cui il sito interagisce

Il sito è ubicato nel territorio del comune di Assemini (provincia di Cagliari), all'interno del polo industriale di Macchiareddu, in un'area caratterizzata da un elevato grado di antropizzazione ed elevata densità di insediamenti industriali.

I centri abitati più vicini sono Assemini, alla distanza di 6 km in direzione nord, e Capoterra a 5,5 km in direzione sud.

La centrale Enel di Assemini confina a:

#### **Nord**

- Lisar (lavanderia industriale);
- Autodelta S.r.l. (autofficina e autorimessa, concessionario Volvo);
- Procamion S.r.l. (autofficina e autorimessa);
- Sartech – Saras Tecnologie S.p.A. (laboratorio chimico e attività di ricerca);

#### **Nord – Est**

- So.Co.Mar. (officina di manutenzione meccanica);
- Ecobonifiche (bonifiche serbatoi);
- A. M. Ges. Costr. S.r.l. (costruzioni metalliche);

#### **Est**

- Stazione di Trasformazione di Terna S.p.A.;
- Officine Metalmeccaniche Italia s.r.l. (fonderia metalli lavorati);

#### **Sud e Sud - Est**

- Insediamento industriale SYNDIAL (ex-Enichem);

#### **Ovest**

- Ecoteam (gestione e stoccaggio rifiuti);
- Cooperativa Golfo degli Angeli (deposito attrezzature da spiaggia);
- Colorificio Rimar (deposito materiali per l'edilizia);

#### **Nord - Ovest**

- Cuccu (autotrasporti);

Il sito ha una superficie totale di circa 137.284 m<sup>2</sup> e si sviluppa su area pianeggiante collocata alla quota di circa 11 metri sul livello del mare.

### 4.2 Individuazione dei potenziali centri di pericolo

L'impianto produttivo utilizza come combustibile prodotti petroliferi allo stato liquido (gasolio e/o distillati di petrolio leggeri)

Le parti di impianto che possono essere identificate come le principali potenziali fonti di contaminazione sono state descritte nel capitolo 2.5 ed evidenziate nella planimetria di Tavola 2.

In sintesi, questi potenziali centri di pericolo si possono così elencare:

- il Parco Combustibili, inteso come tutti gli impianti per lo stoccaggio e la movimentazione dei combustibili, in particolare gli elementi interrati,
- l'impianto di trattamento delle acque inquinabili da oli,

- il deposito rifiuti contenenti PCB,
- il deposito oli minerali in fusti.

Le possibili cause di contaminazione del terreno, derivanti da tali centri di pericolo, possono essere costituite da:

- spandimenti al suolo durante le normali operazioni di esercizio,
- perdite occulte di serbatoi e vasche di raccolta/stoccaggio,

Alla luce della storia nota del sito, non risulta che siano mai avvenuti simili incidenti.

### **4.3 Sintesi delle caratteristiche idrogeologiche del sito**

Il sito è caratterizzato dalla presenza prevalente di depositi ghiaiosi alluvionali a matrice da sabbiosa ad argillosa dello spessore medio di 60 – 70 metri con intercalazioni sabbiose ed argillose.

La successione lito-stratigrafica, secondo i dati reperiti è così riassumibile:

- da 0 a 1,5-2,5 metri da p.c. - materiale di riporto, costituito prevalentemente da ghiaie grosse in matrice sabbiosa;
- da 1,5-2,5 a 15 metri da p.c. – depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi con variabile componente sabbiosa e/o limoso-argillosa, dove è alloggiata una falda superficiale freatica;
- oltre 20 metri da p.c. - strati argillosi impermeabili che costituiscono il letto della falda freatica;
- oltre i 55 metri - alternanze di depositi argillosi e sabbie, che costituiscono un secondo acquifero, semiconfinato e leggermente in pressione.

Dalle informazioni reperite, nelle immediate adiacenze del sito la falda superficiale risulta alloggiata nei depositi alluvionali e presenta una soggiacenza compresa tra i 5 e i 9 metri da p.c.. I pochi dati a disposizione indicano una direzione di scorrimento della falda superficiale orientata verso Sud. La falda freatica sembra localmente soggetta a forti oscillazioni, probabilmente in relazione ad interventi antropici che si aggiungono agli effetti del regime meteorologico.

In considerazione della grande profondità degli strati che contengono il secondo acquifero e della potenza dell'orizzonte impermeabile che li protegge, non si ravvisa, almeno nella fase preliminare delle indagini, la necessità di estendere le indagini anche alla falda profonda.

## PIANO DI INVESTIGAZIONE INIZIALE

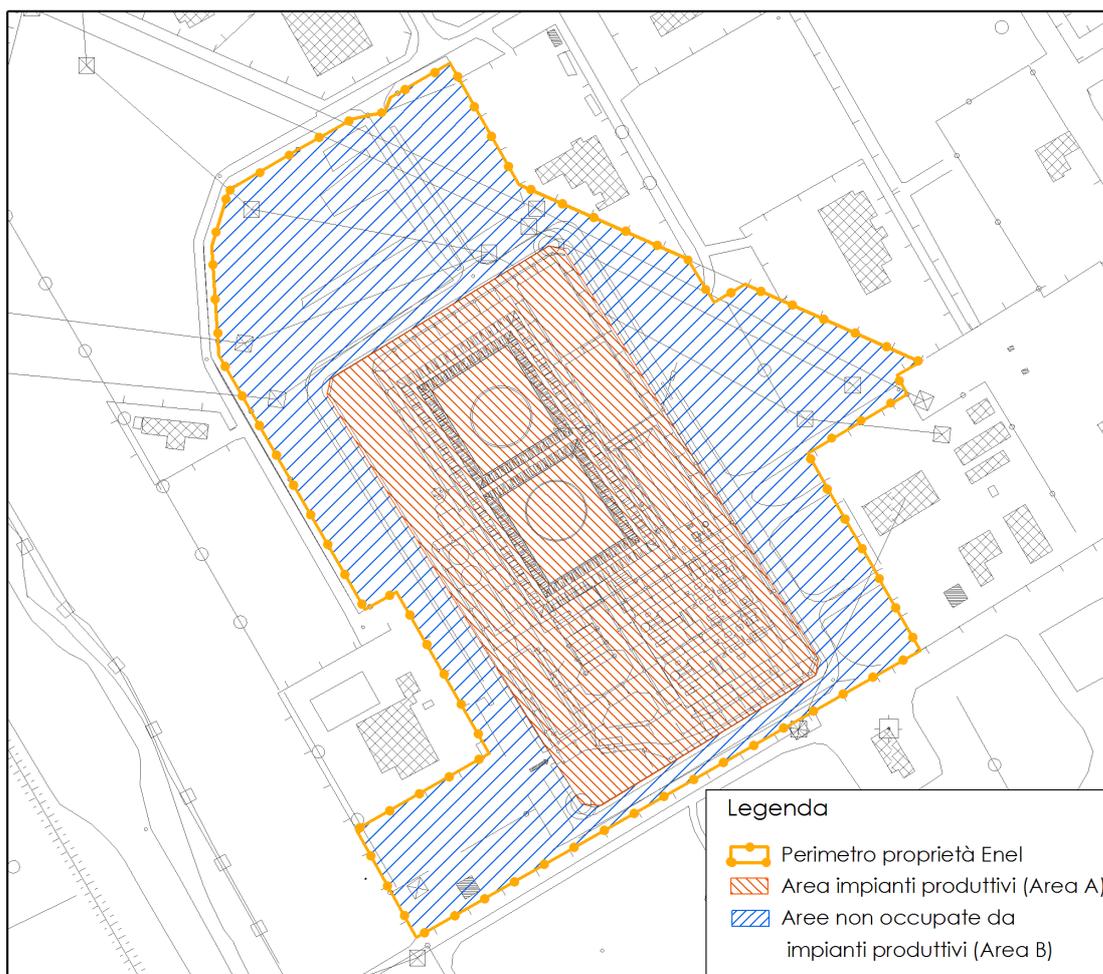
### 4.4 Impostazione metodologica

Nell'ambito del Piano della Caratterizzazione è necessario prevedere un Piano di Investigazione Iniziale che permetta di evidenziare e verificare le potenziali contaminazioni in atto.

A questo scopo, l'intera area di proprietà Enel S.p.A. è stata considerata suddivisibile in due settori omogenei:

- **area A con superficie di poco superiore a 57.100 m<sup>2</sup>** che comprende l'area occupata dagli impianti produttivi, fisicamente separata dalla restante porzione della proprietà Enel dalla recinzione anti-intrusione dell'impianto;
- **area B con superficie di poco superiore a 79.600 m<sup>2</sup>** che comprende le aree esterne, anch'esse classificate a destinazione industriale, confinanti con l'impianto produttivo ma che non sono occupate da infrastrutture industriali e che non sono mai state oggetto di attività potenzialmente inquinanti;

La disposizione delle due diverse tipologie di area è mostrata nella planimetria della figura seguente ed è riportata con maggior dettaglio, nella Tavola 3.



**Figura 16:** identificazione delle aree omogenee all'interno del sito

#### 4.4.1 Numero e caratteristiche dei punti di indagine

Tendendo conto che la Direzione del Servizio Qualità della Vita del MATT richiede il seguente criterio generale per l'esecuzione delle indagini di caratterizzazione:

- *nelle aree oggetto di attività potenzialmente inquinanti ai sensi del D.M. 16.5.1989, la caratterizzazione dovrà essere eseguita con una maglia non inferiore a 50 x 50 m;*
- *nelle aree non oggetto di attività potenzialmente inquinanti ma confinanti con aree oggetto di tali attività, la caratterizzazione dovrà essere eseguita con una maglia equivalente 100 x 100 m per una fascia che sarà definita dagli Enti di controllo;*
- *nelle aree non oggetto di attività potenzialmente inquinanti e non confinanti con aree oggetto di tali attività, la caratterizzazione dovrà essere eseguita con una maglia equivalente 200 x 200 m; per tali ultimi campioni, salvo diverso avviso degli Enti di controllo, la profondità dei medesimi potrà essere limitata al primo metro.*
- *Pertanto, le aree ad uso agricolo, non confinanti con aree di attività potenzialmente inquinanti ai sensi del D.M. 16.5.1989, saranno caratterizzate secondo una maglia equivalente di 200 x 200 metri.*

Ai fini delle indagini per la caratterizzazione del sito, si intende procedere come segue:

- **area A (superficie di poco superiore a 57.100 m<sup>2</sup>)** - caratterizzazione con una maglia equivalente a 50 x 50 metri (1 sondaggio ogni 2.500 m<sup>2</sup>), che corrisponde ad un minimo di **23 sondaggi**; data la presenza di numerose strutture fuori terra e la densità dei sottoservizi, si ritiene che non sarà tecnicamente possibile rispettare una maglia regolare; i punti di indagine verranno pertanto disposti con infittimento in prossimità dei centri di pericolo individuati;
- **area B (superficie di poco superiore a 79.600 m<sup>2</sup>)** - caratterizzazione con una maglia equivalente a 100 x 100 metri (1 sondaggio ogni 10.000 m<sup>2</sup>), che corrisponde ad un minimo di **8 sondaggi**.

Il numero minimo totale dei sondaggi previsti è pertanto di **31 punti di sondaggio**.

In alcuni di questi perfori, verranno installati n° **5 piezometri** per il controllo delle acque della falda.

Oltre e in aggiunta ai sondaggi geognostici sono previsti inoltre n° **4 campionamenti di suolo superficiale (top-soil)** in numero pari al 10% dei sondaggi totali, destinati alle determinazioni di Policlorobifenili (PCB), Diossine e Furani (PCDD/PCDF) e di Amianto Totale.

Nella Tavola 4 sono indicate le posizioni indicative previste per i punti di indagine.

Data la densità delle infrastrutture di impianto, servizi e sottoservizi, non è possibile a questo stadio confermare con esattezza la precisa ubicazione dei punti di indagine. L'ubicazione definitiva di tutti i singoli punti andrà comunque verificata in sede di cantiere, con l'identificazione di tutti i possibili sottoservizi presenti nell'area interessata e in funzione della situazione logistica.

Nella stessa Tavola 5 sono evidenziati i punti di indagine che verranno attrezzati con piezometro per il controllo delle acque di falda.

la profondità sondaggi sarà, in linea di massima, tale da raggiungere la frangia capillare della falda superficiale, indicativamente posta a circa 5 - 9 metri di profondità dal piano campagna. La perforazione verrà arrestata entro i primi 50 cm di terreno saturo.

Per tutti i punti della maglia di indagine saranno comunque possibili in corso d'opera modifiche rispetto alla profondità prevista, in funzione delle condizioni lito-stratigrafiche incontrate.

Per i punti da attrezzare con piezometro, la perforazione verrà spinta in profondità fino a raggiungere il un livello a bassa permeabilità che costituisce il letto della falda superficiale; la perforazione verrà arrestata entro i primi 50 cm di tale strato, per non interrompere la continuità degli strati impermeabili naturali. Qualora questo orizzonte non venisse incontrato, i sondaggi verranno comunque interrotti alla quota di 25 metri da p.c..

In ciascuno dei perfori da attrezzare a piezometro, verrà eseguita una prova Lefranc in foro, a profondità corrispondenti con gli strati che alloggianno l'acquifero.

#### 4.4.2 *Frequenza dei prelievi in senso verticale*

Le profondità del prelievo di suolo, sottosuolo o materiali di riporto varia in funzione:

- della necessità di caratterizzare l'area dal punto di vista geologico e idrogeologico;
- di definire la profondità dell'inquinamento;
- la variabilità orizzontale e verticale della contaminazione;
- la presenza di contatto diretto tra gli acquiferi e le fonti di inquinamento.

La frequenza di prelievo dei campioni di terreno in corrispondenza di ogni sondaggio, in senso verticale, verrà determinata come segue:

1. il primo metro di profondità, includente il materiale di riporto superficiale;
2. un campione di un metro intermedio;
3. un metro in corrispondenza della frangia capillare, cioè all'interno della zona di oscillazione della falda o comunque dell'interfaccia zona satura / zona insatura (indicativamente tra 5 e 9 metri di profondità da p.c.)
4. per i soli sondaggi da attrezzare a piezometro, un campione di un metro rappresentativo dello strato inferiore dell'acquifero; qualora non venisse incontrato un livello impermeabile alla base dell'acquifero, un campione di un metro rappresentativo della profondità massima raggiunta.

Prima di definire le precise profondità di prelievo, sarà necessario esaminare preventivamente il rilievo stratigrafico di massima, allo scopo di evidenziare le variazioni fra gli strati della sezione da campionare. Si dovrà porre cura a che ogni campione sia rappresentativo di una e una sola unità litologica, evitando di mescolare nello stesso campione materiale proveniente da strati di natura diversa o materiale del riporto con terreno naturale.

Ai campioni previsti sarà possibile aggiungerne altri a giudizio, in particolare nel caso in cui si manifestino evidenze visive o organolettiche di alterazione, contaminazione o presenza di materiali estranei, oppure in strati di terreno al letto di accumuli di sostanze di rifiuto (se si dovessero riscontrare), ecc..

#### 4.4.3 *Parametri da determinare*

Per quanto riguarda la scelta delle sostanze indicatrici, nei campioni che verranno raccolti in fase di realizzazione del Piano di Indagine verranno determinati i seguenti parametri analitici.

Nei campioni di terreno:

- **Metalli:** Sb, As, Be, Cd, Co, Cr tot, Cr VI, Hg, Ni, Pb, Cu, Se, Sn, Tl, V, Zn (parametri da 1 a 16 della Tab. 1, Allegato 5, D.lgs: 152/2006)
- **Aromatici** (parametri da 19 a 24)
- **Aromatici Policiclici** (parametri da 25 a 38)
- **Alifatici Clorurati Cancerogeni** (parametri da 39 a 46)
- **Alifatici Clorurati non Cancerogeni** (parametri da 47 a 53)
- **Alifatici Alogenati Cancerogeni** (parametri da 54 a 57)
- **Diossine e Furani** (parametro 92) solo sui campioni di top-soil
- **PCB** (parametro 93) solo sui campioni di top-soil
- **Idrocarburi** (parametri da 94 a 95)
- **Amianto Totale** (parametro 96) solo sui campioni di top-soil

- Contenuto di acqua
- Scheletro (frazione >2 mm).

Nei campioni di acque sotterranee:

- **Metalli:** Al, Sb, Ag, As, Be, Cd, Co, Cr tot, Cr(VI), Fe, Hg, Ni, Pb, Cu, Se, Mn, Tl, Zn (parametri da 1 a 18 della Tab. 2, Allegato 5, D.lgs: 152/2006),
- **Inquinanti Inorganici:** Boro, Cianuri Liberi, Fluoruri, Nitriti, Solfati (parametri da 19 a 23)
- **Aromatici** (parametri da 24 a 28)
- **Aromatici Policiclici** (parametri da 29 a 38)
- **Alifatici Clorurati Cancerogeni** (parametri da 39 a 47)
- **Alifatici Clorurati non Cancerogeni** (parametri da 48 a 53)
- **Alifatici Alogenati Cancerogeni** (parametri da 54 a 57)
- **Idrocarburi** espressi come n-esano (parametro 90)
- pH
- Conducibilità Elettrica
- Ossigeno Disciolto
- Potenziale di Ossidoriduzione
- Temperatura

#### 4.4.4 Restituzione dei risultati

Le analisi sui campioni di terreno, ad eccezione delle determinazioni sui composti volatili, verranno condotte sulla frazione secca passante il vaglio dei 2 mm.

Relativamente alle sostanze volatili, data la particolarità delle sostanze, non può essere eseguita la setacciatura e l'analisi, pertanto, dovrà essere condotta sul campione tal quale.

Ai fini del confronto con i valori delle CSC previsti dal D.lgs. 152/06, nei referti analitici verrà riportata la concentrazione riferita al totale (comprensivo dello scheletro maggiore di 2 mm e privo della frazione maggiore di 2 cm, da scartare in campo).

## 4.5 Modalità di indagine in campo

Obiettivi fondamentali delle indagini in situ sono:

- definizione del modello concettuale definitivo del sottosuolo;
- localizzazione, delimitazione e caratterizzazione di dettaglio delle potenziali fonti di inquinamento;
- definizione dell'estensione e del livello del potenziale inquinamento nelle diverse matrici ambientali (ricettori quali suolo, acque ecc.);
- identificazione e caratterizzazione delle possibili vie di migrazione degli inquinanti nonché i potenziali bersagli;
- raccolta di tutte le informazioni utili per indirizzare i successivi interventi di bonifica e/o messa in sicurezza.

In generale il campionamento e le analisi dovranno essere effettuate in modo da fornire un campione rappresentativo della reale concentrazione di una determinata sostanza nello spazio, cioè nell'area e nel volume campionati, e l'evoluzione della concentrazione nel tempo.

### 4.5.1 Esecuzione dei sondaggi geognostici

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

- le perforazioni saranno condotte in modo da garantire il campionamento in continuo di tutti i litotipi, garantendo il minimo disturbo del suolo e del sottosuolo;
- durante le operazioni di perforazione, l'utilizzo delle attrezzature e delle sostanze impiegate, la velocità di rotazione e quindi di avanzamento delle aste e la loro pressione sul terreno sarà tale da

evitare fenomeni di attrito e di surriscaldamento, il dilavamento, la contaminazione e quindi l'alterazione della composizione chimica e biologica del materiale prelevato;

- la ricostruzione stratigrafica e la profondità di prelievo nel suolo sarà determinata con la massima accuratezza possibile, non peggiore di 0,1 metri;
- il campione prelevato sarà conservato con tutti gli accorgimenti necessari per ridurre al minimo ogni possibile alterazione;
- nell'esecuzione dei sondaggi, sarà adottata ogni cautela al fine di non provocare la diffusione di inquinanti a seguito di eventi accidentali ed evitare fenomeni di contaminazione indotta, generata dall'attività di perforazione (trascinamento in profondità del potenziale inquinante o collegamento di livelli di falda a diverso grado di inquinamento).

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

In particolare, sarà segnalata la presenza nei campioni di contaminazioni evidenti (evidenze organolettiche).

I carotaggi saranno eseguiti a secco, evitando l'utilizzo di fluidi e quindi l'alterazione delle caratteristiche chimiche dei materiali da campionare. Solo in casi di assoluta necessità, ad es. consistenza dei terreni in grado di impedire l'avanzamento (trovanti, strati rocciosi), sarà consentita la circolazione temporanea ad acqua pulita, sino al superamento dell'ostacolo. Si riprenderà, quindi, la procedura a secco.

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

Le corone e gli utensili per la perforazione a carotaggi saranno scelti di volta in volta in base alle necessità evidenziatesi, e saranno impiegati rivestimenti e corone non verniciate.

Al fine di evitare il trascinamento in profondità di contaminanti di superficie, oltre che per evitare franamenti delle pareti del foro nei tratti non lapidei, la perforazione sarà eseguita impiegando una tubazione metallica provvisoria di rivestimento. Tale tubazione provvisoria, avente un diametro adeguato al diametro dell'utensile di perforazione, sarà infissa dopo ogni manovra fino alla profondità ritenuta necessaria per evitare franamenti. Saranno adottate modalità di infissione tali che il disturbo arrecato al terreno sia contenuto nei limiti minimi.

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

Prima e durante ogni operazione saranno messi in atto accorgimenti di carattere generale per evitare l'immissione nel sottosuolo di composti estranei, quali:

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

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

Ad ogni battuta, sarà annotata la descrizione del materiale recuperato, indicando colore, granulometria, stato di addensamento, composizione litologica, ecc., riportando i dati in un apposito modulo. Tutti i campioni estratti saranno sistemati, nell'ordine di estrazione, in adatte cassette catalogatrici distinte per ciascun sondaggio, nelle quali verranno riportati chiaramente e in modo indelebile i dati di identificazione del perforo e dei campioni contenuti e, per ogni scomparto, le quote di inizio e termine del campione contenuto.

Ciascuna cassetta catalogatrice sarà fotografata, completa delle relative indicazioni grafiche di identificazione. Le foto saranno eseguite prima che la perdita di umidità abbia provocato l'alterazione del colore dei campioni estratti.

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

Le cassette verranno trasferite presso un deposito in luogo chiuso, ivi immagazzinate per la conservazione e rimarranno a disposizione del Committente.

Al termine delle operazioni i perfori dei sondaggi verranno chiusi in sicurezza mediante miscela cemento-bentonite per tutta la profondità, in modo da evitare la creazione di vie preferenziali per la migrazione dell'acqua di falda e di eventuali contaminanti.

Tutte le attività di perforazione saranno eseguite in campo sotto la costante supervisione di un geologo.

#### **4.5.2 Prove di permeabilità tipo Lefranc**

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

Saranno quindi previste una serie di prove da eseguirsi su alcuni punti di indagine; la scelta dei punti deve essere tale da rendere rappresentativi i parametri di permeabilità e trasmissività per tutto l'acquifero.

Le prove saranno eseguite in avanzamento, entro fori di sondaggio rivestiti fino alla sommità della sezione di prova. In generale, le prove in sito realizzate nei fori di sondaggio verranno eseguite in depositi con permeabilità da media ad elevata ( $K > 10^{-6}$  m/s).

Sarà utilizzato il metodo a carico idraulico costante o a carico idraulico variabile, in funzione della permeabilità dell'acquifero in esame.

Prima delle prove, sarà necessario predisporre e realizzare la sezione filtrante; normalmente, essa avrà altezza pari ad almeno 0,50 metri. Se l'acquifero ha tendenza a franare è preferibile procedere alla realizzazione di sezioni filtranti molto basse, al più si può realizzare una sezione piana.

Si procederà come segue:

- perforazione con rivestimento fino alla quota prefissata
- pulizia del fondo foro
- immissione di materiale granulare e formazione della sezione filtrante
- sollevamento del rivestimento fino alla estremità superiore del filtro.
- misura del livello di falda con freatometro.

Quindi, nel caso delle prove a carico variabile, si procederà all'immissione di acqua pulita nel foro, fino al raggiungimento del piano campagna e a partire da questo livello iniziale si misureranno gli abbassamenti, in corrispondenza di intervalli di tempo prefissati. In generale, la prova verrà protratta fino a raggiungere la stabilizzazione delle letture in corrispondenza del livello di falda misurato precedentemente, oppure quando lo scarto tra due abbassamenti successivi risulti sufficientemente piccolo. In ogni caso, le prove verranno arrestate trascorso un tempo massimo di 2 ore.

Le prove a carico costante dovranno essere protratte fino a raggiungimento del regime stazionario.

Per ogni prova condotta sarà fornito un rapporto di prova, che comprenderà:

- modalità esecutive della prova;
- schema della geometria della tasca;
- livello statico stabile della falda;
- valori delle misure eseguite;
- note dell'operatore;
- calcolo del coefficiente di permeabilità K o della conducibilità idraulica k.

In linea di principio, le prove di permeabilità verranno condotte presso i sondaggi attrezzati a piezometro, in corrispondenza dell'orizzonte acquifero. La distribuzione delle prove di permeabilità potrà subire modifiche in corso d'opera, in funzione e a giudizio del geologo che seguirà le indagini, con l'intento di ottenere una soddisfacente caratterizzazione dell'acquifero, nel suo profilo verticale e su tutta l'area interessata dai sondaggi. Le prove dovranno interessare l'acquifero da caratterizzare, per cui non si possono definire profondità stabilite a priori.

#### **4.5.3 Installazione di piezometri**

Come già accennato in precedenza, per l'analisi e il campionamento delle acque sotterranee sono da prevedersi una serie di piezometri che, come numero, localizzazione e profondità, risultino essere coerenti con il modello concettuale costruito, in modo da poter caratterizzare univocamente l'influenza del sito sulle caratteristiche complessive degli acquiferi in esame e la mobilità degli inquinati nelle acque sotterranee.

L'importanza dei piezometri è duplice:

- da una parte sono necessari nella fase iniziale dell'indagine per la ricostruzione della superficie piezometrica, l'identificazione delle falde presenti, l'analisi relativa alle loro oscillazioni e l'individuazione del flusso idrico sotterraneo principale (monitoraggio fisico-geometrico);
- dall'altra parte è necessario realizzare una rete significativa di punti di monitoraggio della qualità idrochimica delle falde presenti (monitoraggio qualitativo).

Questo implica che una volta definite le direzioni di flusso idrico sotterraneo, i piezometri destinati alla sorveglianza quali-quantitativa di zone potenzialmente contaminate potranno essere considerati come effettivi "pozzi di monitoraggio".

La tubazione da utilizzare per la realizzazione dei piezometri avrà un diametro interno nominale pari a 100 mm ( $\varnothing$  4"), con giunzione maschio / femmina; la parete ha uno spessore minimo di 5 mm. La tubazione sarà finestrata, mediante microfessurazioni, alle quote più avanti specificate e realizzata in materiali plastici inerti dal punto di vista chimico (PVC). La larghezza delle microfessurazioni sarà tipicamente di 0,4 mm con spaziatura di 9 mm. La chiusura di fondo tubo sarà eseguita mediante fondello cieco impermeabile.

Per la realizzazione del filtro a ridosso della zona finestrata del tubo si utilizzerà ghiaietto siliceo, con granulometria uniforme, e forme arrotondate. Non verranno impiegati filtri artificiali (geotessile).

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

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

In tutti i casi, l'estremità della tubazione sarà munita di tappo di chiusura a tenuta ermetica.

Completata l'installazione della tubazione, si procederà alle operazioni di primo spurgo, finalizzate a rimuovere il sedimento presente nel tubo finestrato, nei filtri e nel terreno immediatamente adiacente al sondaggio, al fine di assicurare la possibilità di prelevare campioni di acqua rappresentativi e privi di materiale in sospensione. Le operazioni di spurgo saranno eseguite con una pompa centrifuga sommersa. Ad installazione ultimata, si determinerà la quota relativa alla bocca tubo di ciascun piezometro. La quota, espressa in metri sul livello del mare, verrà riferita ai capisaldi di riferimento presenti nell'area di impianto.

#### **4.5.4 Prelievo di campioni di terreno mediante sondaggi a carotaggio continuo**

Per quanto concerne le modalità e le procedure di campionamento dei terreni, andranno seguite le indicazioni fornite dal D. Lgs. 152/2006.

Per ogni posizione di prelievo, prima di definire le precise profondità di prelievo, dovrà preventivamente essere esaminato il rilievo stratigrafico di massima, allo scopo di evidenziare le variazioni fra gli strati della sezione da campionare.

Si dovrà porre cura a che ogni campione sia rappresentativo di una e una sola unità litologica, evitando di mescolare nello stesso campione materiale proveniente da strati di natura diversa o materiale del riporto con terreno naturale.

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

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

Il prelievo dei campioni verrà eseguito immediatamente dopo la deposizione della carota nella cassetta catalogatrice e saranno contenuti in appositi contenitori, sigillati e univocamente siglati.

In tutte le operazioni di prelievo dovrà essere rigorosamente mantenuta la pulizia delle attrezzature e dei dispositivi di prelievo, che deve essere eseguita con mezzi o solventi compatibili con i materiali e le sostanze di interesse, in modo da evitare fenomeni di contaminazione incrociata o perdita di rappresentatività del campione.

In tutte le operazioni di prelievo si dovrà mantenere la pulizia delle attrezzature e dei dispositivi di prelievo, eseguita con mezzi o solventi compatibili con i materiali e le sostanze di interesse, in modo da evitare fenomeni di contaminazione incrociata o perdita di rappresentatività del campione.

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

Il prelievo degli incrementi di terreno e ogni altra operazione ausiliaria (separazione del materiale estraneo, omogeneizzazione, suddivisione in aliquote, ecc.) dovranno essere eseguite in accordo con la Procedura ISO 10381-2:2002 *Soil Quality - Sampling - Guidance on sampling of techniques*, nonché con le linee guida del Manuale UNICHIM n° 196/2 *Suoli e falde contaminati – Campionamento e analisi*.

Particolare cura sarà al prelievo delle aliquote destinate alla determinazione dei composti organici volatili, che saranno prelevati al più presto, dopo la disposizione delle carote nelle cassette catalogatrici, per mezzo di un sub-campionatore e immediatamente sigillati in apposite fiale dotate di sottotappo in teflon, in accordo con la procedura EPA SW846 - *Method 5035A Closed-System Purge-and-Trap and Extraction for Volatile Organics in Soil and Waste Samples*.

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

1. una destinata alle determinazioni quantitative eseguite dal laboratorio CESI;
2. una destinata all'archiviazione, a disposizione dell'Ente di Controllo, per eventuali futuri approfondimenti analitici, da custodire a cura del Committente.

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

Un terzo replicato, quando richiesto, verrà confezionata in contraddittorio solo alla presenza dell'Ente di Controllo.

Per l'aliquota destinata alla determinazione dei composti volatili, non viene prevista la preparazione di un doppio replicato.

#### **4.5.5 *Prelievo di campioni di terreno superficiale (top-soil)***

Il prelievo dei campioni di terreno destinati alla determinazione di PCDD/PCDF (Diossine e Furani), PCB (PoliCloroBifenili) e Amianto Totale, sarà eseguito per mezzo di saggi, della profondità massima di 10 cm circa, eseguiti con una trivella azionata manualmente. Per ogni punto di indagine saranno operati un numero minimo di 5 saggi, disposti ai vertici ed al centro di un'area quadrata di circa 1 metro di lato.

Dalle carote ottenute, della lunghezza massima di 10 cm, verrà eliminata la cotica erbosa e il materiale risultante dalle 5 carote per ognuno dei punti di indagine sarà omogeneizzato e suddiviso mediante le usuali tecniche di quartatura/omogeneizzazione e suddividendolo infine in due replicati come descritto nel paragrafo precedente.

#### **4.5.6 *Misure freaticmetriche e campionamento delle acque di falda***

Per la definizione della superficie della falda oggetto delle indagini, dovranno essere eseguite misure di soggiacenza, con precisione di almeno 1 cm, presso i piezometri realizzati.

Il livello statico dell'acqua all'interno di tutti i piezometri verrà misurato per mezzo di un freaticometro, nell'arco della stessa giornata. Tutte le misure saranno riferite alla bocca del tubo piezometrico, della quale verrà appositamente rilevata la quota sul livello del mare.

Sulla base delle misure effettuate, a partire cioè dai valori puntuali misurati, si provvederà ad eseguire la ricostruzione del livello statico della falda superficiale.

#### **4.5.7 *Prelievo di campioni di acque di falda***

I prelievi e le analisi dei campioni di acqua sotterranea dovranno essere eseguite su di un campione prelevato in modo da ridurre gli effetti indotti dalla velocità di prelievo sulle caratteristiche chimico-fisiche delle acque, quali ad esempio la presenza di una fase colloidale o la modifica delle condizioni di ossidoriduzione che possono portare alla precipitazione di elementi solubilizzati nelle condizioni naturali degli acquiferi.

Presso tutti i piezometri sarà verificata l'assenza di un'eventuale fase organica surnatante al di sopra del livello dell'acqua; le rilevazioni verranno eseguite sia mediante apposita sonda di interfaccia, sia mediante verifica visiva durante le fasi di campionamento e prelievo.

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

Il prelievo dei campioni sarà di tipo dinamico, mediante pompa sommersa a basso flusso, e avverrà sempre immediatamente dopo l'operazione di spurgo.

Le analisi delle acque sotterranee devono essere eseguite sul campione tal quale, per ottenere la determinazione della concentrazione totale delle sostanze inquinanti; conformemente al parere dell'Istituto Superiore di Sanità n° 371/2002, la sola determinazione dei metalli sarà eseguita su campioni di acqua filtrata, direttamente in campo, su membrane in acetato di cellulosa con porosità da 0,45 µm.

Per la caratterizzazione di sostanze che possono essere presenti in fase di galleggiamento alla superficie della falda, si dovrà prevedere un campionamento con strumenti posizionati in modo da permettere il prelievo del liquido galleggiante in superficie ed evitare diluizioni con acqua proveniente da maggiore profondità.

I campioni di acque sotterranee prelevati verranno immediatamente trattati e confezionati in campo a seconda della natura e delle particolari necessità imposte dai parametri analitici da determinare. I metodi di conservazione devono essere tali per cui si mantenga la qualità "chimica" del campione stesso. Ogni campione prelevato verrà pertanto suddiviso in numerose aliquote, a seconda delle diverse necessità di stabilizzazione e di conservazione, in funzione delle necessità tecniche analitiche.

Il prelievo degli incrementi di acque sotterranee e ogni altra operazione ausiliaria (filtrazione, aggiunta di reattivi, conservazione, ecc.) verranno eseguite in accordo con la Procedura ISO 5667-11:1993(E) *Water Quality - Sampling - Guidance on sampling of groundwaters*, nonché con le linee guida del Manuale UNICHIM n° 196/2 *Suoli e falde contaminati - Campionamento e analisi*.

#### **4.5.8 *Misure in situ di parametri di qualità dell'acqua***

Al momento del prelievo, i campioni di acqua saranno sottoposti a misura elettrometrica dei principali parametri di qualità:

- pH,
- conducibilità,
- ossigeno disciolto,
- potenziale di ossidoriduzione,
- temperatura.

Le misurazioni dei campioni di acqua sono effettuate direttamente in campo, utilizzando tecniche elettrometriche, in generale, verrà eseguita:

- la misura direttamente in linea durante lo spurgo dei piezometri, con elettrodi alloggiati in una cella di flusso;

- solo qualora per limitazioni pratiche, questa procedura non fosse applicabile, la determinazione viene effettuata secondo uno dei tre seguenti metodi:
- misura in sito con sonda multiparametrica, eseguita nel piezometro immediatamente dopo lo spurgo e il prelievo del campione;
- misura effettuata su di un'aliquota del campione, eseguita immediatamente dopo il prelievo.

#### 4.6 Metodi per le analisi chimiche di laboratorio

Le analisi chimiche verranno effettuate nei laboratori CESI di Piacenza e verranno adottate metodiche analitiche ufficiali UNICHIM, CNR-IRSA e EPA o comunque in linea con le indicazioni del D. Lgs. 152/2006 anche per quanto attiene i limiti inferiori di rilevabilità. Il programma analitico è esposto nei seguenti paragrafi per ciascuna componente ambientale.

L'elenco dei parametri analitici per i campioni di terreno e per i campioni di acque sotterranee è definito al par. 5.1.3.

Vengono qui di seguito sintetizzati i parametri da analizzare, le tecniche analitiche da impiegare e i Metodi Standard di Riferimento.

##### 4.6.1 Campioni di terreno

###### 4.6.1.1 Essiccazione e vagliatura

I campioni di terreno vengono essiccati all'aria, all'interno di un armadio ventilato termostato alla temperatura di 40°C, e quindi disaggregati e setacciati a 2 mm con strumento FRITSCH Pulverisette 8, in accordo con le norme DIN 19683.

La granulometria del campione iniziale verrà determinata su un'aliquota ad hoc, secondo il metodo dell'idrometro (DM 13/09/99 GU n° 185 21/10/99 Met II.6) e della setacciatura ad umido.

Le analisi di metalli, mercurio e CrVI vengono eseguite sulla frazione <2 mm, preparata come indicato sopra, e sottoposta ad ulteriore macinazione fine mediante mulino con mortai di agata.

###### 4.6.1.2 Contenuto di acqua

*Metodo analitico di riferimento:* Decreto DM 13/09/99 GU n° 185 21/10/99 Met II.2)

*Sintesi del metodo analitico*

Il contenuto di acqua viene determinato per via gravimetrica.

###### 4.6.1.3 Metalli

Nella tabella che segue sono indicati per ciascun parametro i metodi analitici di riferimento e i limiti di rilevabilità:

Parametro	Metodo analitico di riferimento	Unità di misura	Valore limite siti ad uso Comm/Ind.	Limite di rilevabilità
Antimonio	EPA 3050 B:1996, ISO 11885:2004 e/o ISO 17294:2004	[mg/kg]	30	1
Arsenico	EPA 3050 B:1996, ISO 11885:2004 e/o ISO 17294:2004	[mg/kg]	50	5
Berillio	EPA 3050 B:1996, ISO 11885:2004 e/o ISO 17294:2004	[mg/kg]	10	0,5
Cadmio	EPA 3050 B:1996, ISO 11885:2004 e/o ISO 17294:2004	[mg/kg]	15	0,5
Cobalto	EPA 3050 B:1996, ISO 11885:2004 e/o ISO 17294:2004	[mg/kg]	250	1
Cromo totale	EPA 3050 B:1996, ISO 11885:2004 e/o ISO 17294:2004	[mg/kg]	800	1

Parametro	Metodo analitico di riferimento	Unità di misura	Valore limite siti ad uso Comm/Ind.	Limite di rilevabilità
Cromo VI	prEN 15192:2005	[mg/kg]	15	0,5
Mercurio	EPA 7473:1998	[mg/kg]	5	0,5
Nichel	EPA 3050 B:1996, ISO 11885:2004 e/o ISO 17294:2004	[mg/kg]	500	5
Piombo	EPA 3050 B:1996, ISO 11885:2004 e/o ISO 17294:2004	[mg/kg]	1000	10
Rame	EPA 3050 B:1996, ISO 11885:2004 e/o ISO 17294:2004	[mg/kg]	600	5
Selenio	EPA 3050 B:1996, ISO 11885:2004 e/o ISO 17294:2004	[mg/kg]	15	1
Stagno	EPA 3050 B:1996, ISO 11885:2004 e/o ISO 17294:2004	[mg/kg]	350	2
Tallio	EPA 3050 B:1996, ISO 11885:2004 e/o ISO 17294:2004	[mg/kg]	10	1
Vanadio	EPA 3050 B:1996, ISO 11885:2004 e/o ISO 17294:2004	[mg/kg]	250	2
Zinco	EPA 3050 B:1996, ISO 11885:2004 e/o ISO 17294:2004	[mg/kg]	1500	5

**As, Be, Cd, Co, Cr totale, Cu, Ni, Pb, Sb, Se, Sn Tl, V, Zn,**

*Metodi analitici di riferimento:* EPA 3050 B:1996, ISO 11885:2004 e/o ISO 17294:2004

*Sintesi del metodo analitico:* i suoli, preparati come descritto, vengono sottoposti a digestione acida secondo il metodo EPA 3050B, che prevede l'uso di aliquote successive di acido nitrico ultrapuro ed acqua ossigenata, a 95°C su piastra; le soluzioni ottenute vengono analizzate mediante spettrometria di emissione al plasma con rivelatore ottico (ICP-OES) secondo ISO 11885 oppure con rivelatore di massa (ICP-MS) secondo ISO 17294.

**Cromo esavalente**

*Metodo analitico di riferimento:* prEN 15192:2005

*Sintesi del metodo analitico:* i suoli vengono sottoposti ad estrazione a caldo a 92.5 °C per 60 minuti sotto agitazione con una soluzione di carbonato di sodio e NaOH e analisi mediante ICP-OES (prEN 15192).

*Conformità metodo a parere APAT, ISS e ARPAL (prot. RiBO n. 3485 del 04/04/2003)*

I laboratori CESI applicano la norma prEN 15192, già recepita in numerose normative europee (BS, DIN, ecc.), in corso di approvazione. Tale norma, per quanto riguarda la digestione alcalina, è del tutto equivalente al metodo EPA 3060 e quindi al parere APAT, ISS e ARPAL di cui al prot. RiBO n. 3485 del 04/04/2003. Per quanto riguarda il metodo strumentale per la determinazione del CrVI nella soluzione proveniente dalla digestione del terreno, CESI utilizza ICP-OES in luogo della cromatografia ionica, applicando la norma ISO 11885:2004 in quanto al punto 10.1 e nell'ANNEX A della norma prEN 15192 è previsto l'utilizzo di tale tecnica analitica, purché venga dimostrato che nessuna specie di Cr, escluso Cr VI venga estratta durante la digestione. La verifica è ottenuta aggiungendo "spike" di Cr III ai campioni, dopo aver determinato il Cr VI, per verificare la specificità dell'estrazione.

Le prove eseguite dai laboratori chimici di CESI, durante il circuito di intercalibrazione per la validazione del metodo EN 15192, hanno evidenziato che il recupero di Cr III aggiunto non ha mai superato il 5% e quindi può ritenersi trascurabile.

**Mercurio**

*Metodo analitico di riferimento:* EPA 7473:1998

*Sintesi del metodo analitico:* il Mercurio viene analizzato mediante tecnica strumentale per assorbimento UV, dopo riduzione allo stato elementare e formazione di amalgama (EPA 7473).

#### 4.6.1.4 Aromatici (BTEX+Stirene)

Metodo analitico di riferimento: EPA 5035A:2002 (Purge&Trap) accoppiato a EPA 8260B:1996 (analisi GC/MS)

Parametro	Unità di misura	Valore limite siti ad uso Comm/Ind.	Limite di rilevabilità
Benzene	[mg/kg]	2	0,1
Etilbenzene	[mg/kg]	50	0,1
Stirene	[mg/kg]	50	0,1
Toluene	[mg/kg]	50	0,1
Xilene	[mg/kg]	50	0,1

#### Sintesi del metodo analitico

L'analisi viene eseguita sul campione tal quale, umido, appositamente prelevato in campo in vial di vetro con tappo a vite. I risultati analitici vengono corretti per il contenuto di umidità e riferiti allo scheletro secondo il D.Lgs. 152/06.

I campioni ritenuti di basso livello vengono addizionati in automatico di acqua, surrogate e standard interni e gli analiti estratti mediante tecnica di purge-and-trap, in accordo con metodo EPA-SW 846 n° 5035 e analizzati mediante gascromatografia ad alta risoluzione accoppiata a spettrometria di massa, in accordo con il metodo EPA-SW 846 n° 8260. I campioni che dalla analisi secondo EPA 5035 risultassero con concentrazioni elevate di analiti sono successivamente estratti con metanolo in ultrasuoni; una aliquota della soluzione metanolica viene diluita in acqua e analizzata secondo EPA EPA-SW 846 n° 5030 (v. Metodi per Acque).

#### 4.6.1.5 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

Metodo analitico di riferimento: EPA 3545:1996 (Pressurized Fluid Extraction), purificazione su gel di silice e EPA 8270C:1996 (analisi GC/MS)

Parametro	Unità di misura	Valore limite siti ad uso Comm/Ind.	Limite di rilevabilità
Benzo(a)antracene	[mg/kg]	10	0,1
Benzo(a)pirene	[mg/kg]	10	0,1
Benzo(b+k)fluorantene	[mg/kg]	10	0,1
Benzo(g,h,i)perilene	[mg/kg]	10	0,1
Crisene	[mg/kg]	50	0,1
Dibenzo(a,l)pirene	[mg/kg]	10	0,1
Dibenzo(a,e)pirene	[mg/kg]	10	0,1
Dibenzo(a,i)pirene	[mg/kg]	10	0,1
Dibenzo(a,h)pirene	[mg/kg]	10	0,1
Dibenzo(a,h)antracene	[mg/kg]	10	0,1
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	[mg/kg]	5	0,1
Pirene	[mg/kg]	50	0,1

#### Sintesi del metodo analitico

Estrazione con solvente, con la tecnica della "pressurized fluid extraction (PFE)", secondo il metodo EPA-SW 846 n° 3545, purificazione dei campioni su colonna SPE di gel di silice ed analisi mediante gascromatografia ad alta risoluzione accoppiata a spettrometria di massa (HRGC/MS), in accordo con il metodo EPA-SW846 n° 8270.

#### 4.6.1.6 Alifatici clorurati cancerogeni<sup>1</sup>

Metodo analitico di riferimento: EPA 5035A:2002 (Purge&Trap) accoppiato a EPA 8260B:1996 (analisi GC/MS)

Parametro	Unità di misura	Valore limite siti ad uso Comm/Ind.	Limite di rilevabilità
Clorometano	[mg/kg]	5	0,05
Diclorometano	[mg/kg]	5	0,05
Triclorometano	[mg/kg]	5	0,05
Cloruro di Vinile	[mg/kg]	0,1	0,01
1,2-Dicloroetano	[mg/kg]	5	0,05
1,1 Dicloroetilene	[mg/kg]	1	0,05
Tricloroetilene	[mg/kg]	10	0,05
Tetracloroetilene (PCE)	[mg/kg]	20	0,05

#### Sintesi del metodo analitico

L'analisi viene eseguita sul campione tal quale, umido, appositamente prelevato in campo in vial di vetro con tappo a vite. I risultati analitici vengono corretti per il contenuto di umidità e riferiti allo scheletro secondo il D.Lgs. 152/06.

I campioni ritenuti di basso livello vengono addizionati in automatico di acqua, surrogate e standard interni e gli analiti estratti mediante tecnica di purge-and-trap, in accordo con metodo EPA-SW 846 n° 5035 e analizzati mediante gascromatografia ad alta risoluzione accoppiata a spettrometria di massa, in accordo con il metodo EPA-SW 846 n° 8260. I campioni che dalla analisi secondo EPA 5035 risultassero con concentrazioni elevate di analiti sono successivamente estratti con metanolo in ultrasuoni; una aliquota della soluzione metanolica viene diluita in acqua e analizzata secondo EPA-SW 846 n° 5030 (v. Acque).

#### 4.6.1.7 Alifatici clorurati non cancerogeni<sup>2</sup>

Metodo analitico di riferimento: EPA 5035A:2002 (Purge&Trap) accoppiato a EPA 8260B:1996 (analisi GC/MS)

Parametro	Unità di misura	Valore limite siti ad uso Comm/Ind.	Limite di rilevabilità
1,1-Dicloroetano	[mg/kg]	30	0,1
1,2-Dicloroetilene	[mg/kg]	15	0,1
1,1,1-Tricloroetano	[mg/kg]	50	0,1
1,2-Dicloropropano	[mg/kg]	5	0,1
1,1,2-Tricloroetano	[mg/kg]	15	0,1
1,2,3-Tricloropropano	[mg/kg]	10	0,1
1,1,2,2-Tetracloroetano	[mg/kg]	10	0,1

#### Sintesi del metodo analitico

L'analisi viene eseguita sul campione tal quale, umido, appositamente prelevato in campo in vial di vetro con tappo a vite. I risultati analitici vengono corretti per il contenuto di umidità e riferiti allo scheletro secondo il Dlgs 152/06.

I campioni ritenuti di basso livello vengono addizionati in automatico di acqua, surrogate e standard interni e gli analiti estratti mediante tecnica di purge-and-trap, in accordo con metodo EPA-SW 846 n° 5035 e analizzati mediante gascromatografia ad alta risoluzione accoppiata a spettrometria di massa, in

<sup>1</sup> Elenco composti come riportato nel D.Lgs 152/06

<sup>2</sup> Elenco composti come riportato nel D.Lgs 152/06

accordo con il metodo EPA-SW 846 n° 8260. I campioni che dalla analisi secondo EPA 5035 risultassero con concentrazioni elevate di analiti sono successivamente estratti con metanolo in ultrasuoni; una aliquota della soluzione metanolica viene diluita in acqua e analizzata secondo EPA-SW 846 n° 5030 (v. Acque).

#### 4.6.1.8 Alifatici alogenati cancerogeni<sup>3</sup>

Metodo analitico di riferimento: EPA 5035A:2002 (Purge&Trap) accoppiato a EPA 8260B:1996 (analisi GC/MS)

Parametro	Unità di misura	Valore limite siti ad uso Comm/Ind.	Limite di rilevabilità
Tribromometano (bromoformio)	[mg/kg]	10	0,1
1,2-Dibromoetano	[mg/kg]	0.1	0,01
Dibromoclorometano	[mg/kg]	10	0,1
Bromodichlorometano	[mg/kg]	10	0,1

#### Sintesi del metodo analitico

L'analisi viene eseguita sul campione tal quale, umido, appositamente prelevato in campo in vial di vetro con tappo a vite. I risultati analitici vengono corretti per il contenuto di umidità e riferiti allo scheletro secondo il Dlgs 152/06.

I campioni ritenuti di basso livello vengono addizionati in automatico di acqua, surrogate e standard interni e gli analiti estratti mediante tecnica di purge-and-trap, in accordo con metodo EPA-SW 846 n° 5035 e analizzati mediante gascromatografia ad alta risoluzione accoppiata a spettrometria di massa, in accordo con il metodo EPA-SW 846 n° 8260. I campioni che dalla analisi secondo EPA 5035 risultassero con concentrazioni elevate di analiti sono successivamente estratti con metanolo in ultrasuoni; una aliquota della soluzione metanolica viene diluita in acqua e analizzata secondo EPA-SW 846 n° 5030 (v. Acque).

#### 4.6.1.9 Policlorobifenili (PCB)

Metodo analitico di riferimento: EPA 3545 (Pressurized Fluid Extraction), EPA 3665 (purificazione con ac. Solforico), opzionali EPA 3620:1996 (Florisil clean up) e/o EPA 3660B:1996 (sulfur cleanup) e EPA 8280:2000 (analisi GC/ECD e calcoli)

Parametro	Unità di misura	Valore limite siti ad uso Comm/Ind.	Limite di rilevabilità
PCB	[mg/kg]	5	0,5

#### Sintesi del metodo analitico

estrazione con solvente, con la tecnica della "pressurized fluid extraction (PFE)", secondo il metodo EPA-SW 846 n° 3545, trattamento con acido solforico per distruggere gli interferenti (metodo EPA-SW 846 n° 3665) e, se la matrice del campione lo richiedesse, purificazione anche con EPA 3620:1996 (Florisil clean up) e/o EPA 3660B:1996 (sulfur cleanup). La determinazione strumentale è effettuata per gascromatografia ad alta risoluzione e rivelatore a cattura di elettroni (HRGC/ECD) secondo il metodo EPA 8082.

#### 4.6.1.10 Idrocarburi leggeri C <12

Metodo analitico di riferimento: EPA 5035 (Purge&Trap) e EPA 8015 (GC/FID)

<sup>3</sup> Elenco composti come riportato nel D.Lgs 152/06

Parametro	Unità di misura	Valore limite siti ad uso Comm/Ind.	Limite di rilevabilità
Idrocarburi C<=12	[mg/kg]	250	15

#### Sintesi del metodo analitico

I campioni sono estratti con metanolo in ultrasuoni, secondo il metodo EPA-SW 846 n° 5035. Una aliquota misurata della soluzione metanolica viene aggiunta ad una quantità nota di acqua. Gli analiti presenti in tale soluzione vengono estratti con la tecnica di purge-and-trap, in accordo con metodo EPA-SW 846 n° 5030 e analizzati mediante gascromatografia ad alta risoluzione con rivelatore FID (metodo EPA-SW 846 n° 8015).

#### 4.6.1.11 Idrocarburi pesanti C >= 12 (C12÷C40)

##### Sintesi del metodo analitico

Metodo analitico di riferimento: EPA 3545 (Pressurized Fluid Extraction) e ISO TR 11046 metodo B (analisi GC/FID)

Parametro	Unità di misura	Valore limite siti ad uso Comm/Ind.	Limite di rilevabilità
Idrocarburi C>=12 (C12÷C40)	[mg/kg]	750	50

#### Sintesi del metodo analitico

Estrazione con solvente, con la tecnica della “pressurized fluid extraction (PFE)”, secondo il metodo EPA-SW 846 n° 3545, purificazione dei campioni su colonna di gel di silice (metodo EPA-SW 846 n° 3630) e analisi mediante gascromatografia ad alta risoluzione con rivelatore FID secondo il metodo ISO TR 11046, effettuando il calcolo degli idrocarburi a partire da C13, come indicato nel parere ISS prot. 37936 IA.12 del 01/12/03.

#### 4.6.1.12 Diossine e furani (PCDD e PCDF)

Per l'analisi di PCDD/F, ISMES utilizza un laboratorio esterno, dotato di HRGC/HRMS, e provvisto di accreditamento SINAL

Metodo analitico di riferimento: EPA 1613B:1994

Parametro	Unità di misura	Valore limite siti ad uso Comm/Ind.	Limite di rilevabilità
Sommatoria PCDD, PCDF (conversione T.E.)	[mg/kg]	1x10 <sup>-4</sup>	1x10 <sup>-6</sup>

La sommatoria di PCDD e PCDF include i seguenti composti di interesse, cui si applicano i fattori di tossicità equivalente internazionali (I-TEF: International - 2,3,7,8 TCDD Equivalent Factors) indicati di seguito:

PCDD	I-TEF
2,3,7,8 - TCDD	1
1,2,3,7,8 - PeCDD	0,5
1,2,3,4,7,8 - HxCDD	0,1
1,2,3,7,8,9 - HxCDD	0,1
1,2,3,6,7,8 - HxCDD	0,1
1,2,3,4,6,7,8 - HpCDD	0,01
OCDD	0,001

PCDF	I-TEF
2,3,7,8 - TCDF	0,1
2,3,4,7,8 - PeCDF	0,5
1,2,3,7,8 - PeCDF	0,05
1,2,3,4,7,8 - HxCDF	0,1
1,2,3,7,8,9 - HxCDF	0,1
1,2,3,6,7,8 - HxCDF	0,1
2,3,4,6,7,8 - HxCDF	0,1
1,2,3,4,6,7,8 - HpCDF	0,01
1,2,3,4,7,8,9 - HpCDF	0,01
OCDF	0,001

*Sintesi del metodo analitico*

Estrazione con solvente, con la tecnica della “pressurized fluid extraction” (metodo EPA-SW 846 n° 3545) o in soxhlet con acetone:esano (1:1). Purificazione con colonna mista gel di silice acida/basica/neutra e bicarbonato, ulteriore purificazione su allumina e determinazione strumentale mediante gascromatografica ad alta risoluzione accoppiata a spettrometria di massa ad alta risoluzione (HRGC/HRMS), in accordo con il metodo EPA1613B e calcolo della concentrazione in tossicità equivalente (T.E.) con i fattori riportati sopra.

*4.6.1.13 Amianto totale*

Metodo analitico di riferimento: D.M. 6/9/1994

Parametro	Unità di misura	Valore limite siti ad uso Comm/Ind.	Limite di rilevabilità
Amianto totale	[mg/kg]	1000	1000

*Sintesi del metodo analitico:*

Il contenuto di amianto viene determinato mediante Diffrazione di Raggi X (XRD) secondo il metodo UNICHIM n° 853 “Determinazione dell’amianto, metodo per diffrazione a raggi X” EM/26, indicato dal D.M. 6/9/1994, previa verifica della presenza o meno dell’amianto mediante microscopia ottica.

*4.6.2 Campioni di acqua**4.6.2.1 Metalli*

I campioni filtrati direttamente in campo ed acidificati con acido nitrico ultrapuro, saranno poi analizzati in laboratorio senza alcun pretrattamento.

Per la determinazione del contenuto totale, i campioni non filtrati e non acidificati saranno analizzati dopo digestione secondo ISO 15587-2 (digestione con acido nitrico).

Nella tabella che segue sono indicati metodi analitici di riferimento e i limiti di rilevabilità per le diversi parametri:

Parametro	Metodo analitico di riferimento	Unità di misura	Valore limite	Limite di rilevabilità
Alluminio	ISO 17294 -2004	[µg/L]	200	5
Antimonio	ISO 17294 -2004	[µg/L]	5	0,1
Argento	ISO 17294 -2004	[µg/L]	10	0,5
Arsenico	ISO 17294:2004	[µg/L]	10	1
Berillio	ISO 17294:2004	[µg/L]	4	0,1
Cadmio	ISO 17294:2004	[µg/L]	5	0,5
Cobalto	ISO 17294:2004	[µg/L]	50	1
Cromo totale	ISO 17294:2004	[µg/L]	50	1
Cromo esavalente	EPA 7199:1996	[µg/L]	5	2 (*)
Ferro	ISO 11885-2004	[µg/L]	200	5
Mercurio	ISO 17294:2004	[µg/L]	1	0,1
Nichel	ISO 17294:2004	[µg/L]	20	1
Piombo	ISO 17294:2004	[µg/L]	10	0,5
Rame	ISO 17294:2004	[µg/L]	1000	1
Selenio	ISO 17294:2004	[µg/L]	10	1
Manganese	ISO 17294:2004	[µg/L]	50	0,5
Tallio	ISO 17294:2004	[µg/L]	2	0,1
Zinco	ISO 17294:2004	[µg/L]	3000	1

(\*) – Non è possibile tecnicamente raggiungere un LdR inferiore a quello indicato, applicando il metodo analitico di riferimento

#### **Al, Ag, As, Be, Cd, Co, Cr totale, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, V, Zn**

*Metodo analitico di riferimento:* ISO 17294:2004

*Sintesi del metodo analitico:* i campioni vengono analizzati mediante spettrometria di emissione al plasma con rivelatore di massa (ICP-MS).

#### **Ferro**

*Metodo analitico di riferimento:* ISO 11885:2004

*Sintesi del metodo analitico:* i campioni vengono analizzati mediante spettrometria di emissione al plasma con rivelatore ottico (ICP-OES).

#### **Cromo esavalente**

*Metodo analitico di riferimento:* EPA 7199:1996

*Sintesi del metodo analitico:* il Cromo VI viene analizzato in soluzione acquosa mediante cromatografia ionica con utilizzo di reattivo post-colonna alla difenilcarbazide e rivelatore UV-Vis.

#### 4.6.2.2 Inquinanti inorganici

Parametro	Metodo analitico di riferimento	Unità di misura	Valore limite	Limite di rilevabilità
Boro	ISO 11885 : 2004	[µg/L]	1000	5
Cianuri liberi	SM 4500CN-N:1998	[µg/L]	50	5
Fluoruri	ISO 10304 -1:2007	[µg/L]	1500	100
Nitriti	ISO 10304 -1:2007	[µg/L]	500	50
Solfati	ISO 10304 -1:2007	[mg/L]	250	25

#### **Boro**

*Metodo analitico di riferimento:* ISO 11885 : 2004

*Sintesi del metodo analitico:* i campioni vengono analizzati mediante spettrometria di emissione al plasma con rivelatore ottico (ICP-OES).

#### **Cianuri liberi**

*Metodo analitico di riferimento:* SM 4500CN-N

*Sintesi del metodo analitico:* i cianuri liberi vengono analizzati mediante "Flow Injection Analysis" con rivelazione spettrofotometrica.

#### **Fluoruri, Nitriti, Solfati**

*Metodo analitico di riferimento:* ISO 10304 -1:2007

*Sintesi del metodo analitico:* i campioni acqua vengono analizzati direttamente mediante cromatografia ionica, con rivelatore conduttimetrico.

#### 4.6.2.3 Composti Organici Aromatici (BTEX+Stirene)

*Metodo analitico di riferimento:* EPA 5030C:2003 (Purge&Trap) accoppiato a EPA 8260B:1996 (analisi GC/MS)

Parametro	Unità di misura	Valore limite	Limite di rilevabilità
Benzene	[µg/L]	1	0,1
Etilbenzene	[µg/L]	50	0,5
Stirene	[µg/L]	25	0,5
Toluene	[µg/L]	15	0,5
p-Xilene (1)	[µg/L]	10	0,5

#### Sintesi del metodo analitico

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

#### 4.6.2.4 Policiclici Aromatici

Metodo analitico di riferimento: EPA 3510C:1996 (estrazione L/L), purificazione su gel di silice e EPA 8270C:1996 (analisi GC/MS)

Parametro	Unità di misura	Valore limite	Limite di rilevabilità
Benzo(a)antracene	[µg/L]	0,1	0,001
Benzo(a)pirene	[µg/L]	0,01	0,001
Benzo(b)fluorantene	[µg/L]	0,1	0,001
Benzo(k)fluorantene	[µg/L]	0,05	0,001
Benzo(g,h,i)perilene	[µg/L]	0,01	0,001
Crisene	[µg/L]	5	0,001
Dibenzo(a,h)antracene	[µg/L]	0,01	0,001
Indeno(1,2,3 - c,d)pirene	[µg/L]	0,1	0,001
Pirene	[µg/L]	50	0,001

#### Sintesi del metodo analitico

Estrazione liquido-liquido con solvente (metodo EPA-SW 846 n° 3510), purificazione dei campioni su colonna di gel di silice ed analisi mediante gascromatografia ad alta risoluzione accoppiata a spettrometria di massa (HRGC/MS), in accordo con il metodo EPA-SW 846 n° 8270.

#### 4.6.2.5 Alifatici clorurati cancerogeni<sup>4</sup>

Metodo analitico di riferimento:

EPA 5030C:2003 (Purge&Trap) accoppiato a EPA 8260B:1996 (analisi GC/MS)

Parametro	Unità di misura	Valore limite	Limite di rilevabilità
Clorometano	[µg/L]	1,5	0,2
Triclorometano	[µg/L]	0,15	0,02
Cloruro di Vinile	[µg/L]	0,5	0,05
1,2-Dicloroetano	[µg/L]	3	0,3
1,1-Dicloroetilene	[µg/L]	0,05	0,01
Tricloroetilene	[µg/L]	1,5	0,15
Tetracloroetilene (PCE)	[µg/L]	1,1	0,1
Esaclorobutadiene	[µg/L]	0,15	0,02

#### Sintesi del metodo analitico

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

#### 4.6.2.6 Alifatici clorurati non cancerogeni<sup>5</sup>

Metodo analitico di riferimento: EPA 5030C:2003 (Purge&Trap) accoppiato a EPA 8260B:1996 (analisi GC/MS)

<sup>4</sup> Elenco composti come riportato nel D.Lgs. 152/06

<sup>5</sup> Elenco composti come riportato nel D.Lgs. 152/06

Parametro	Unità di misura	Valore limite	Limite di rilevabilità
1,1-Dicloroetano	[µg/L]	810	0,2
1,2-Dicloroetilene	[µg/L]	60	0,2
1,2-Dicloropropano	[µg/L]	0,15	0,02
1,1,2-Tricloroetano	[µg/L]	0,2	0,02
1,2,3-Tricloropropano	[µg/L]	0,001	0,001 (1)
1,1,2,2-Tetracloroetano	[µg/L]	0,05	0,01

(1) – Non è possibile tecnicamente raggiungere un LdR inferiore a quello indicato, applicando il metodo analitico di riferimento

#### *Sintesi del metodo analitico*

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

#### 4.6.2.7 Alifatici alogenati cancerogeni<sup>6</sup>

*Metodo analitico di riferimento:* EPA 5030C:2003 (Purge&Trap) accoppiato a EPA 8260B:1996 (analisi GC/MS)

Parametro	Unità di misura	Valore limite	Limite di rilevabilità
Tribromometano (bromoformio)	[µg/L]	0,3	0,02
1,2-Dibromoetano	[µg/L]	0,001	0,001 (1)
Dibromoclorometano	[µg/L]	0,13	0,02
Bromodichlorometano	[µg/L]	0,17	0,02

(1) – Non è possibile tecnicamente raggiungere un LdR inferiore a quello indicato, applicando il metodo analitico di riferimento

#### *Sintesi del metodo analitico*

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

#### 4.6.2.8 Idrocarburi Totali (in GC/FID)

*Metodo analitico di riferimento:* ISO 9377-2:2000

Parametro	Unità di misura	Valore limite	Limite di rilevabilità
Idrocarburi Totali	[µg/L]	350	30

#### *Sintesi del metodo analitico*

Estrazione Liquido/liquido del campione di acqua con esano o etere di petrolio in apparecchiatura dedicata, come descritta da metodo di riferimento. Purificazione su Florisil e analisi GC/FID degli idrocarburi compresi tra C10 e C40.

#### 4.6.2.9 pH, Ossigeno disciolto, Conduttività elettrica, Potenziale di ossidoriduzione e Temperatura

##### *Sintesi del metodo analitico*

Le misurazioni dei campioni di acqua vengono effettuate direttamente in campo, utilizzando tecniche

<sup>6</sup> Elenco composti come riportato nel D.Lgs. 152/06

elettrometriche; a seconda delle possibilità pratiche, la determinazione viene effettuata mediante misura in linea durante lo spurgo dei piezometri con elettrodi alloggiati in una cella di flusso.

## 5 CONCLUSIONI

Nel documento viene presentato il Piano della Caratterizzazione del sito della centrale Enel Turbogas di Assemini. Tutti i dati e le informazioni presentate costituiscono la sintesi e la sistematizzazione della documentazione pregressa circa la storia, le geologia e le condizioni attuali del sito.

In particolare viene presentato il Piano di Indagini che si intende mettere in atto, in conformità a quanto prescritto dal D. Lgs. 152/2006 recante *Norme in materia ambientale*.

Il sito è ubicato nel territorio del comune di Assemini (provincia di Cagliari), all'interno del polo industriale di Macchiareddu-Grogastu, e occupa una superficie di **137.284 m<sup>2</sup>**.

I centri abitati più vicini sono Assemini, alla distanza di 4,5 km in direzione nord, e Capoterra a 5,5 km in direzione sud.

La centrale Turbogas di Assemini è un impianto di produzione di energia elettrica che impiega gasolio come combustibile.

L'impianto è entrato in servizio nel 1992 e non ha subito variazioni di assetto impiantistico corso degli anni da allora intercorsi.

Il sito è caratterizzato dalla presenza prevalente di depositi ghiaiosi alluvionali a matrice da sabbiosa ad argillosa dello spessore medio di 60 – 70 metri.

Sulla base delle informazioni di tipo geologico che sono state raccolte, la successione stratigrafica, nei primi metri, si può sintetizzare come segue:

- da 0 a 1,5-2,5 metri da p.c. - materiale di riporto, costituito prevalentemente da ghiaie grosse in matrice sabbiosa;
- da 1,5-2,5 a 15 metri da p.c. – depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi con variabile componente sabbiosa e/o limoso-argillosa, dove è alloggiata una falda superficiale freatica.
- oltre 20 metri da p.c. - strati argillosi impermeabili che costituiscono il letto della falda freatica
- oltre i 55 metri - alternanze di depositi argillosi e sabbie, che costituiscono un secondo acquifero, semiconfinato e leggermente in pressione.

Presso il sito, le informazioni più recenti indicano la presenza di una falda freatica alloggiata nei depositi alluvionali, il cui livello statico si assesterebbe a profondità comprese tra 5 e 9 metri da p.c. con una direzione di scorrimento da Nord verso Sud. La falda freatica sembra localmente soggetta a forti oscillazioni, probabilmente in relazione ad interventi antropici che si aggiungono agli effetti del regime meteorologico.

Ai fini delle indagini per la caratterizzazione, il sito è stato suddiviso come segue:

- **area A (superficie pari di poco superiore a 57.100 m<sup>2</sup>)** - caratterizzazione con una maglia equivalente a 50 x 50 metri (1 sondaggio ogni 2.500 m<sup>2</sup>), che corrisponde a **23 sondaggi**;
- **area B (superficie pari di poco superiore a 79.600 m<sup>2</sup>)** - caratterizzazione con una maglia equivalente a 100 x 100 metri (1 sondaggio ogni 10.000 m<sup>2</sup>), che corrisponde a **8 sondaggi**.

Il numero totale dei sondaggi previsti è pertanto di **31 punti di sondaggio**.

In alcuni di questi perfori, verranno installati n° **5 piezometri** per il controllo delle acque della falda.

La profondità dei punti di indagine sarà tale da caratterizzare tutto lo spessore di terreno insaturo, fino alla tavola d'acqua.

La frequenza di prelievo dei campioni di terreno in corrispondenza di ogni sondaggio, in senso verticale, verrà determinata come segue:

1. il primo metro di profondità, includente il materiale di riporto superficiale;
2. un campione di un metro intermedio;
3. un metro in corrispondenza della frangia capillare, cioè all'interno della zona di oscillazione della falda o comunque dell'interfaccia zona satura / zona insatura (indicativamente tra 5 e 9 metri di profondità da p.c.).

4. per i soli sondaggi da attrezzare a piezometro, un campione di un metro rappresentativo dello strato inferiore dell'acquifero; qualora non venisse incontrato un livello impermeabile alla base dell'acquifero, un campione di un metro rappresentativo della profondità massima raggiunta..
- Oltre e in aggiunta ai sondaggi geognostici sono previsti inoltre n° **4 campionamenti di suolo superficiale** (*top-soil*) destinati alle determinazioni di Policlorobifenili (PCB), Diossine e Furani (PCDD/PCDF) e di Amianto Totale.

Nei campioni di terreno verranno determinati i seguenti parametri analitici: **Metalli, Aromatici, Aromatici Policiclici, Alifatici Clorurati Cancerogeni, Alifatici Clorurati non Cancerogeni, Alifatici Alogenati Cancerogeni, Idrocarburi, Diossine e Furani** (solo sui campioni di top-soil), **PCB** (solo sui campioni di top-soil), **Amianto Totale** (solo sui campioni di top-soil), Contenuto di acqua, Scheletro (frazione >2 mm).

Nei campioni di acque sotterranee verranno determinati i seguenti parametri analitici: **Metalli, Inquinanti Inorganici, Aromatici, Aromatici Policiclici, Alifatici Clorurati Cancerogeni, Alifatici Clorurati non Cancerogeni, Alifatici Alogenati Cancerogeni, Idrocarburi**, pH, Conducibilità Elettrica, Ossigeno Disciolto, Potenziale di Ossidoriduzione, Temperatura

## ELENCO DELLE TAVOLE FUORI TESTO

<b>Tavola 1</b>	Corografia
<b>Tavola 2</b>	Planimetria attuale dell'impianto con evidenziati i centri di pericolo
<b>Tavola 3</b>	Aree di proprietà Enel
<b>Tavola 4</b>	Ubicazione dei punti di indagine: sondaggi,
<b>Tavola 5</b>	Ubicazione dei punti di indagine: piezometri e top-soil

---