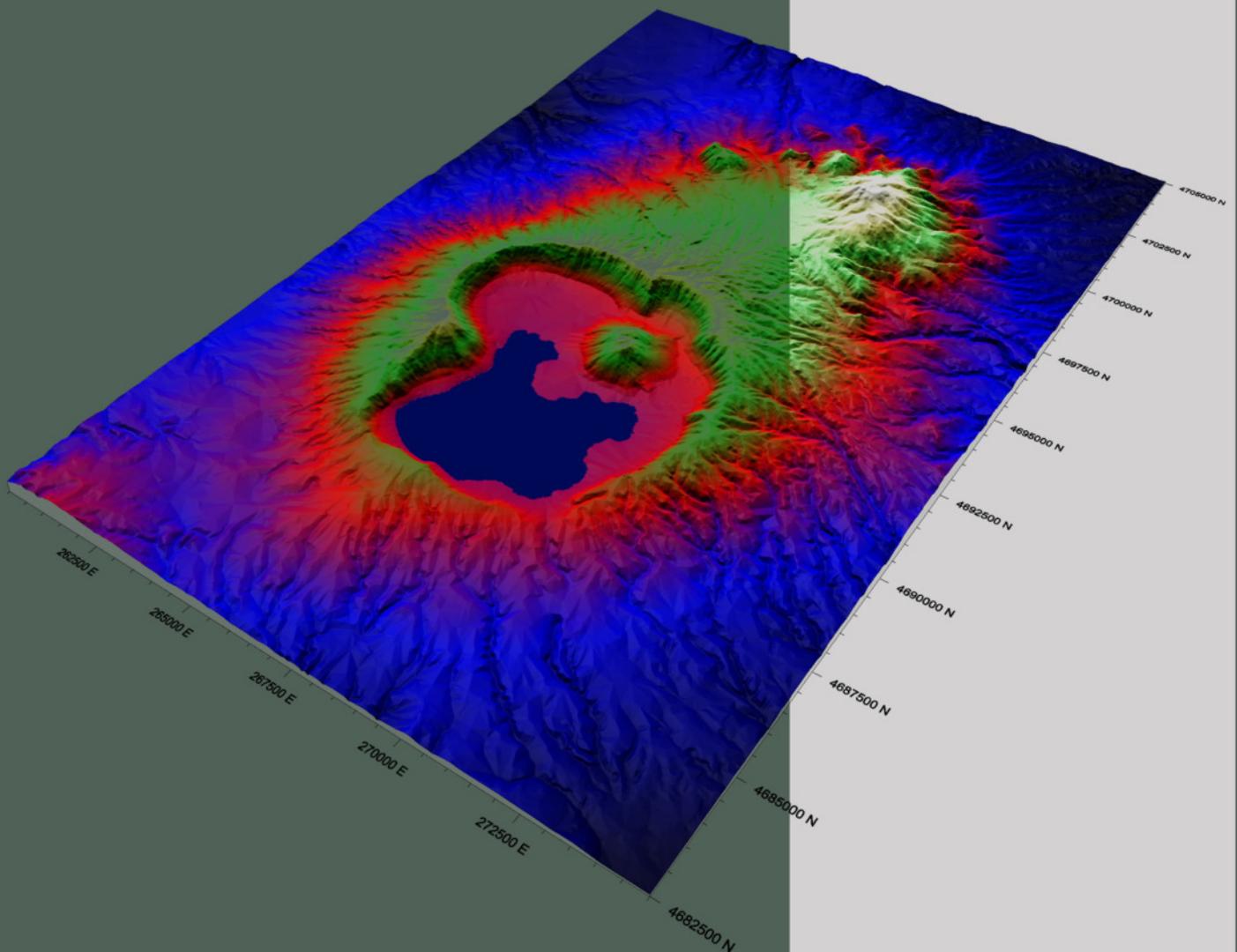


ARPALAZIO



Regione Lazio

RELAZIONE CONCLUSIVA di  
CARATTERIZZAZIONE del BACINO del LAGO  
di VICO



Marzo 2018

***Responsabile Scientifico***

Ing. Rossana Cintoli

***Gruppo di Lavoro***

Dott. Geol. Giorgio Onofri

Ing. Simone Dionisi

Dott. Giampaolo Brinchi

Dott. Geol. Alessandro Grillo

Ing. Antonio Di Gennaro

## Sommario

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>4</b>
1.1	<i>Sintesi dell'iter procedurale</i> .....	4
1.2	<i>Riferimenti tecnico-normativi</i> .....	6
<b>2</b>	<b>FLUSSO DELLE ATTIVITA'</b> .....	<b>8</b>
2.1	<i>Suolo Superficiale</i> .....	8
2.2	<i>Suolo Profondo</i> .....	11
2.3	<i>Acque Sotterranee</i> .....	12
2.4	<i>Acque Superficiali</i> .....	14
2.5	<i>Sedimento Lacustre</i> .....	16
<b>3</b>	<b>RISULTATI</b> .....	<b>20</b>
3.1	<i>Suolo Profondo</i> .....	20
3.1.1	<i>Ricostruzione Stratigrafica</i> .....	26
3.2	<i>Suolo Superficiale</i> .....	27
3.2.1	<i>Sistematizzazione ed analisi dei dati di indagine</i> .....	27
3.2.2	<i>Valori di Fondo e Definizione del Bianco di Riferimento</i> .....	34
3.3	<i>Sedimenti</i> .....	35
3.3.1	<i>Valutazioni ecotossicologiche</i> .....	36
3.3.2	<i>Datazione dei sedimenti</i> .....	38
3.4	<i>Acque superficiali</i> .....	39
3.5	<i>Acque Sotterranee</i> .....	39
3.5.3	<i>Prove di emungimento</i> .....	42
3.5.4	<i>Test di diluizione e Prova di tracciamento</i> .....	42
3.6	<i>Il modello Geochimico e Idrogeologico del Lago di Vico</i> .....	43
3.7	<i>Rilievo Batimetrico e Magnetometrico</i> .....	43
<b>4</b>	<b>SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE (SIT)</b> .....	<b>45</b>
4.1	<i>Struttura del SIT del lago di Vico</i> .....	45
4.2	<i>Sistema di riferimento utilizzato</i> .....	46
4.3	<i>Cartografia di base</i> .....	47
4.4	<i>Caratterizzazione delle matrici ambientali</i> .....	53
<b>5</b>	<b>VALUTAZIONI CONCLUSIVE</b> .....	<b>64</b>

## **Allegati**

**Allegato 1: Log stratigrafici**

**Allegato 2: Rapporti di prova**

- **Certificati delle analisi chimiche di laboratorio dei campioni di suolo**
- **Certificati delle analisi chimiche di laboratorio dei campioni di sedimento**
- **Certificati delle analisi chimiche di laboratorio dei campioni delle acque sotterranee**
- **Certificati delle analisi chimiche di laboratorio dei campioni delle acque superficiali**

**Allegato 3: SIT del Lago di Vico**

## **Appendici**

**Appendice 1: Supporto alla valutazione dei risultati del piano di indagine**

**Appendice 2: Datazione radiometrica ( $^{14}\text{C}$ ) dei campioni di sedimento lacustre**

**Appendice 3: Relazione sulle analisi tossicologiche**

**Appendice 4: Modello geochimico del lago di Vico**

**Appendice 5: Modello idrogeologico numerico di flusso e trasporto del bacino del Lago di Vico**

**Appendice 6: Acquisizione Bati-morfologica e Magnetometrica Lago di Vico (VT)**

## **Abbreviazioni**

**AdR** *Analisi di Rischio*

**As** *Arsenico*

**Ce.T.L.I.** *Centro Tecnico Logistico Interforze*

**CSC** *Concentrazione soglia di Contaminazione*

**CSR** *Concentrazione soglia di Rischio*

**D.L.** *Direzione Lavori*

**D.T.** *Direzione Tecnica*

**MCD** *Modello Concettuale Definitivo del sito*

**p.c.** *Piano Campagna*

**PdC** *Piano della Caratterizzazione*

**RTD** *Relazione Tecnica Descrittiva*

**SIT** *Sistema Informativo Territoriale*

**SS** *Suolo Superficiale*

**TS** *Top Soil*

## 1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Tecnica Descrittiva (RTD) delle indagini eseguite in attuazione del Piano di Indagine proposto nel Piano della Caratterizzazione del Bacino del Lago di Vico redatto in conformità alle indicazioni tecniche contenute nell'Allegato 2 al Titolo V della Parte quarta del D.lgs 152/2006 s.m.i. . Tale documento si prefigge di riportare e descrivere tutti i risultati ottenuti dall'esecuzione delle attività di campo e di laboratorio svolte dal personale ARPA LAZIO. In appendice alla presente relazione si riportano i risultati completi, delle attività svolte in collaborazione con l'Università "La Sapienza" di Roma, l'Università degli studi di Roma "Tor Vergata" l'Università della Tuscia e dell'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero (IAMC) del CNR di Napoli.

Di seguito quindi, si esporranno le attività svolte per la caratterizzazione ambientale dell'area oggetto di studio e i relativi ai risultati ottenuti finalizzati alla definizione del *Modello Concettuale Definitivo* dell'area oggetto di studio.

### 1.1 Sintesi dell'iter procedurale

Di seguito si riporta, in ordine temporale, una descrizione schematica dell'iter procedurale, di cui il presente documento costituisce l'atto più recente:

- Dicembre 2015: a seguito di accordi con la Regione Lazio si è stabilita la consegna della relazione finale per il mese di Ottobre 2017
- 21 ottobre 2013: la Regione Lazio con Determinazione n. G00668 formalizzava la proroga della convenzione al 31 dicembre 2015;
- 31 luglio 2013: l'ARPA Lazio propone alla Regione Lazio un aggiornamento del cronoprogramma delle attività e contestualmente richiede una proroga della convenzione
- 19 settembre 2012: Stipulazione della convenzione tra ARPA Lazio e il Dipartimento di Scienze della Terra di Sapienza. Oggetto della convenzione la modellazione geochimica del Lago di Vico con particolare riguardo alle problematiche ambientali dell'arsenico
- 19 settembre 2012: Stipulazione della convenzione tra ARPA Lazio e il Dipartimento di Scienze Ecologiche e Biologiche dell'Università della Tuscia. Oggetto della convenzione la definizione del modello idrogeologico concettuale e l'implementazione di un modello idrogeologico numerico di flusso e trasporto del bacino del lago di Vico

- 03 Maggio 2012: Approvazione, in Conferenza di Servizi, del Piano di Caratterizzazione. Alla conferenza dei servizi hanno preso parte: Regione Lazio - Area Bonifica siti inquinati, Comune di Caprarola, Provincia di Viterbo, Arpa Lazio e ASL – servizio S.I.A.N.;
- 18 agosto 2010: Stipula della convenzione triennale tra Regione Lazio e ARPA Lazio per la redazione e l'esecuzione del Piano di Caratterizzazione del Lago di Vico;
- 28 giugno 2010: ARPA trasmette alla Regione una bozza della convenzione per la caratterizzazione del bacino di Vico, con disciplinare tecnico;
- 21 giugno 2010: la Provincia di Viterbo convoca un Tavolo Tecnico con ARPA, Regione, ISS e comuni, il 21 giugno, per coordinare le Attività di contrasto al degrado della qualità delle acque del lago;
- 4 giugno 2010: ARPA trasmette a Provincia, Regione, ASL, Prefettura e Comuni un rapporto tecnico ufficiale con i risultati delle analisi integrative sui campioni di sedimento prelevati l'1 aprile;
- 25 maggio 2010: la Regione avvia le intese preliminari per un Accordo di Programma con ARPA Lazio per la redazione e l'esecuzione del Piano di Caratterizzazione del comprensorio del Lago di Vico ai sensi dell'Art. 242 del D.Lgs. 152/2006;
- 10 maggio 2010: riunione Tecnica convocata dalla Regione Lazio (Dipartimento Territorio Area Bonifica), con Provincia e ARPA, per la presentazione dei risultati delle analisi di aprile; sono pianificati approfondimenti d'indagine estesi a tutto il bacino;
- aprile 2010: come concordato nel tavolo tecnico del 12 marzo, ARPA preleva e sottopone ad analisi 6 ulteriori campioni di sedimento del fondo lago (di spessore variabile tra 5 e 20 cm, campionati a profondità comprese tra 16 e 42 m), risultati di aspetto (colore) e consistenza disomogenei; le analisi evidenziano: relativamente al Cadmio, 1 superamento (2.5 mg/kg vs CSC = 2.0 mg/kg), relativamente al Nichel, nessun superamento, relativamente all'Arsenico, 6 superamenti (127 mg/kg, 223 mg/kg, 207 mg/kg, 252 mg/kg, 140 mg/kg e 129 mg/kg vs CSC = 20 mg/kg); viene inoltre rilevato un superamento relativo al Piombo (104 mg/kg vs CSC = 100 mg/kg);
- 12 marzo 2010: primo tavolo tecnico convocato dalla Regione Lazio (Dipartimento Territorio Area Bonifica), con Provincia e ARPA, per approfondimenti tecnici e avvio del procedimento di bonifica; si concordano approfondimenti di indagine;
- 26 febbraio 2010: ARPA comunica alla Regione Lazio, Direzione Regionale Energia e Rifiuti, ai sensi dell'art. 244, comma 1, del D.Lgs. 152/2006 (prot. 0014502), l'avvenuto superamento delle CSC (previste per "suolo/sottosuolo" di "Siti ad uso Verde pubblico,

privato e residenziale”) per i parametri Cadmio, Nichel e Arsenico; al contempo trasmette ufficialmente alla Provincia il rapporto tecnico “Acque del lago di Vico – Attività di contrasto al degrado della qualità delle acque”.

- Gennaio-febbraio 2010: le analisi effettuate da ARPA sul campione di sedimento evidenziano superamenti dei limiti riportati in Colonna A della Tabella 1 (dell’All. 5 al Titolo V della Parte quarta del D.Lgs. 152/2006) per i parametri Cadmio (12 mg/kg vs CSC = 2.0 mg/kg), Nichel (566 mg/kg vs CSC = 120 mg/kg) e Arsenico (647 mg/kg vs CSC = 20 mg/kg); ARPA predispose il rapporto tecnico “Acque del lago di Vico – Attività di contrasto al degrado della qualità delle acque” nel quale sono sintetizzati ufficialmente i risultati di tutte le analisi effettuate nel 2009 (tra i quali quelli non conformi del campione di sedimento).

## 1.2 Riferimenti tecnico-normativi

I riferimenti normativi ai quali ci si è riferiti sia per la redazione del PdC che per l’esecuzione del piano di Indagine, sono i seguenti:

- **Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152** “*Norme in materia ambientale*”, con particolare riferimento al Titolo V “*Bonifica di siti contaminati*” della Parte quarta “*Norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati*”
- **Decreto Legislativo 16 gennaio 2008, n. 4** “*Ulteriori disposizioni correttive e integrative del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale*”

Si è tenuto conto, inoltre, dei seguenti riferimenti operativi elaborati da enti tecnici pubblici:

- Provincia di Milano, “*Linee guida per la determinazione dei valori del fondo naturale nell’ambito della bonifica dei siti contaminati*”, Linee guida n. 7, 2003
- APAT/ISS, “*Protocollo operativo per la determinazione dei valori di fondo di metalli/metalloidi nei suoli dei siti di interesse nazionale*”, Rev. 0, giugno 2006
- APAT, “*Studio sui valori di concentrazione dell’arsenico nei suoli ad uso residenziale. Sito di interesse nazionale di Porto Marghera*”, novembre 2006
- Provincia di Milano, “*Linee Guida per l’utilizzo di strumenti e la selezione di strategie di campionamento delle matrici ambientali*”, Linee guida n. 10, 2006
- Provincia di Milano, “*Linee Guida per le strategie di campionamento e l’elaborazione statistica e geostatistica dei dati ambientali*”, Linee guida n. 11, 2006
- APAT, “*Manuale per le indagini ambientali nei siti contaminati*”, Manuali e linee guida 43/2006, marzo 2007

- 
- APAT, “*Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati*”, Rev. 2, marzo 2008
  - ISPRA, “*Protocollo per la definizione dei valori di fondo per le sostanze inorganiche nelle acque sotterranee*”, aprile 2009

## 2 FLUSSO DELLE ATTIVITA'

Il Piano della Caratterizzazione (PdC) del Bacino del Lago di Vico redatto da Arpa Lazio ed approvato nella Conferenza dei Servizi del 03/12/2012 tenutasi presso la sede della Regione Lazio, prevedeva l'esecuzione di un Piano d'indagine che presumeva, sulla base della definizione del Modello Concettuale Preliminare, l'investigazione delle matrici ambientali di seguito elencate i cui risultati permettessero la definizione del Modello Concettuale Definitivo del Sito:

- Suolo superficiale
- Suolo profondo
- Acque superficiali
- Acque sotterranee
- Sedimenti lacustri

Di seguito quindi, procederemo descrivendo le attività svolte per ogni singola matrice e i risultati ottenuti per addivenire alla definizione del Modello Concettuale Definitivo del Sito (MCD).

### 2.1 Suolo Superficiale

L'investigazione di tale matrice ambientale ha previsto il prelievo di oltre 120 campioni di suolo (Top Soil (TP) e suolo superficiale (SS)) mediante l'esecuzione di micro carotaggi realizzati a percussione e spinti alla profondità di 1 m, per la ricerca dei contaminanti eventualmente presenti e la determinazione, secondo il riferimento tecnico "Protocollo operativo per la determinazione dei valori di fondo di metalli/metalloidi nei suoli dei siti d'interesse nazionale" (ISS/APAT 2006), i relativi valori di:

- **"Fondo naturale"** (corrispondente al "pedo-geochemical background value" della ISO 19258:2005);
- **"Fondo usuale"** o **"Fondo antropizzato"** (corrispondente al "background value" della ISO 19258:2005);

Inoltre sono stati eseguiti 20 test per la valutazione della conducibilità idraulica del Suolo Superficiale ("infiltrazione"), secondo le modalità descritte nel paragrafo 5.2.5. del PdC.

Tutti i campionamenti e le misurazioni di campo sono stati eseguiti dai tecnici ARPA con strumentazione dell'Agenzia; le analisi chimico fisiche sono state eseguite dai laboratori interni ARPA; i test di infiltrazione (conducibilità idraulica), sono stati eseguiti dai tecnici ARPA con un supporto da parte dell'Università di Viterbo, dipartimento di Scienze Ecologiche e Biologiche (DEB), con il quale l'Agenzia ha stipulato un contratto di ricerca.

Per quanto riguarda l'attività di campionamento, sono state realizzate 64 postazioni di prelievo interne al bacino idrografico così suddivise:

- n.30 punti di prelievo in “aree naturali” non antropizzate (AR1);
- n.34 punti di prelievo in aree antropizzate di cui 29 ubicati in aree prevalentemente ad uso agricolo (AR2) e 5 situati in aree residenziali e produttive (AR3).

I carotaggi sono stati effettuati con un sistema Direct Push utilizzando una strumentazione a percussione con avanzamento a secco.

Di seguito si descrive la strumentazione utilizzata:

- martello pneumatico Wacker Neuson EH23/230 Low Vib, guidato da motore elettrico di classe II con potenza nominale 2.2 kW (voltaggio 230 V, amperaggio 10.8 A);
- generatore elettrico monofase Wacker Neuson GV 5000 (230 V a 50 Hz) dotato di motore Honda GX270 VPX4 con potenza massima 6.0 kW (8 hp) @ 3600 rpm (a benzina), trasportabile da un minimo di due operatori (ca 60 kg);
- carotiere cilindrico in acciaio (core sampler) per suoli eterogenei, di lunghezza 1 m e diametro interno 50 mm, accoppiabile a tagliente (cutting head) e testa filettati, con sbalzo interno per l'alloggiamento di liner portacampione in policarbonato trasparente; il carotiere è accoppiabile tramite testa filettata sia direttamente al martello, sia a batteria telescopica di aste che consente il recupero di carote fino a 5 m di profondità;
- sistema di estrazione manuale a due leve (pulling device) da 40 kN con opportune morse a cunei/sfere (clamping jaws).

Per ciascun punto di prelievo:

- sono stati acquisiti: (1) un campione rappresentativo per il top soil (TS) inteso come lo strato di terreno che va dal piano campagna (p.c.) ad una profondità di 0,1 m; (2) un campione rappresentativo per il suolo superficiale (SS) relativo al primo metro di terreno (0,1 m - 1m). La carota di terreno, una volta estratta, è stata decorticata con una spatola in acciaio inox per l'eliminazione della porzione alterata; la restante porzione è stata selezionata separando l'orizzonte più superficiale rappresentato dai primi 10 cm per la formazione del campione di TS (0 - 10 cm), mentre la restante porzione di carota è stata omogeneizzata per la formazione di un unico campione rappresentativo della porzione di suolo non a diretto contatto con i fenomeni interattivi superficiali (SS).
- per ogni campione di terreno prelevato si è proceduto alle analisi di laboratorio finalizzate alla determinazione dei parametri chimico-fisici riportati, insieme alle relative metodiche applicate, nella seguente tabella:

**Tabella 1 - Analisi di laboratorio effettuate sui campioni di suolo per la determinazione dei parametri chimico-fisici**

PARAMETRO	METODICHE APPLICATE	TECNICA ANALITICA
Umidità	CNR IRSA Q 64 Vol, 3 1985	Gravimetrica
Tessitura	Met, II,1DM 13/09/1999 GU n° 248 21/10/1999	Setacciamento
Alluminio (Al)	Met, IX,1 DM 13/09/1999 GU n° 248 21/10/1999	Spettr, assorbimento atomico
Arsenico (As)	MI RI 114	Spettr, assorbimento atomico
Cadmio (Cd)	Met,XI,1 DM 13/09/1999 GU n° 248 21/10/1999	Spettr, assorbimento atomico
Cromo (Cr)	Met,XI,1 DM 13/09/1999 GU n° 248 21/10/1999	Spettr, assorbimento atomico
Ferro (Fe)	Met,IX,1 DM 13/09/1999 GU n° 248 21/10/1999	Spettr, assorbimento atomico
Manganese (Mn)	Met,XI,1 DM 13/09/1999 GU n° 248 21/10/1999	Spettr, assorbimento atomico
Mercurio (Hg)	MI RI 114	Spettr, assorbimento atomico
Nichel (Ni)	Met,XI,1 DM 13/09/1999 GU n° 248 21/10/1999	Spettr, assorbimento atomico
Piombo (Pb)	Met,XI,1 DM 13/09/1999 GU n° 248 21/10/1999	Spettr, assorbimento atomico
Rame (Cu)	Met,XI,1 DM 13/09/1999 GU n° 248 21/10/1999	Spettr, assorbimento atomico
Selenio (Se)	Met,XI,1 DM 13/09/1999 GU n° 248 21/10/1999	Spettr, assorbimento atomico
Vanadio (V)	Met,X,1 DM 13/09/1999 GU n° 248 21/10/1999	Spettr, assorbimento atomico
Zinco (Zn)	Met,XI,1 DM 13/09/1999 GU n° 248 21/10/1999	Spettr, assorbimento atomico
Test di germinazione	RTI CTN_SSC 2/2002 pag. 73	Esame visivo

In allegato 1 si riporta la Tavola 1 con l'ubicazione di tutti i micro carotaggi effettuati.

Per la determinazione dei valori di fondo, sono state prese in considerazione le seguenti norme e linee guida:

- **UNI EN ISO 19258:2011** - Soil quality – Guidance on the determination of background values (con Annex A - Scale of sampling e Annex B - Outlier tests);
- **APAT ISS, 2006** - Protocollo Operativo per la determinazione dei valori di fondo di metalli/oidi nei suoli dei siti di interesse nazionale (Rev. 0 di giugno 2006)
- **ARPA Puglia, 2008** - Procedura di calcolo finalizzata alla determinazione dei valori di fondo di metalli/oidi nell'area industriale di Brindisi.

Per la validazione scientifica dei risultati ottenuti ci si è avvalsi del contributo scientifico del Prof. Baciocchi dell'Università di Tor Vergata, il cui lavoro definitivo è riportato in appendice 5.

Nella Figure 1 di seguito riportata, vengono rappresentati i punti di campionamento dei micro carotaggi eseguiti utilizzati per la determinazione del fondo naturale:

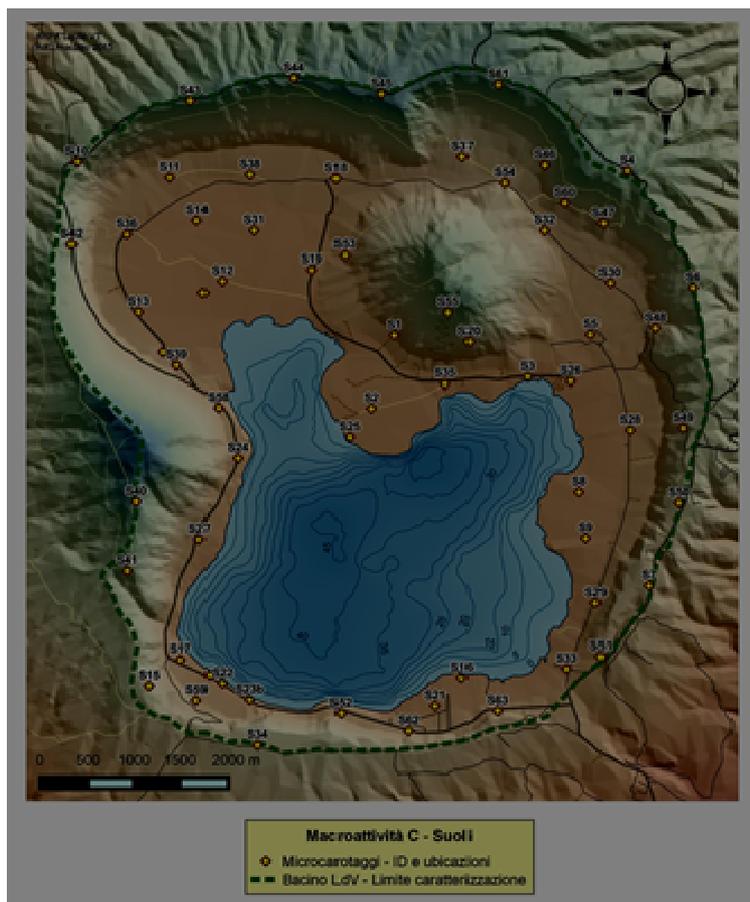


Figure 1 - Ubicazione dei micro carotaggi per la determinazione dei valori di fondo

## 2.2 Suolo Profondo

Per l'investigazione della matrice sottosuolo sono stati realizzati, come previsto dal PdC, 4 sondaggi eseguiti a carotaggio continuo, completati a piezometro con tubazione in PVC atossico da 4", slot 0.5 mm.

L'indagine geognostica eseguita, è stata finalizzata alla:

- Ricostruzione stratigrafica di dettaglio dell'area limitrofa al corpo lacustre;
- Studio delle falde idriche sottostanti l'area d'indagine.

Tutte le attività di campo sono state seguite e supervisionate dal personale tecnico ARPA; inoltre tutte le attività di perforazioni, ad eccezione dell'S1/Pz1 (PzE), sono state assistite anche dal Prof. Vincenzo Piscopo dell'Università della Toscana.

L'attività di realizzazione dei sondaggi geognostici è stata affidata, a seguito di regolare gara pubblica, alla società ESM s.r.l. di Telesse Terme (BN), risultata vincitrice; i lavori, sono iniziati nell'aprile 2014 e sono stati poi interrotti nel maggio dello stesso anno a seguito di contestazioni rappresentate dai tecnici ARPA sulle modalità di esecuzione, sui materiali e sulle strumentazioni utilizzate dalla ditta aggiudicataria, poiché non coerenti con quanto richiesto nel Capitolato Tecnico

allegato alla Procedura di gara. Pertanto il rapporto lavorativo si è interrotto e si è proceduto con lo scorrimento della graduatoria di gara coinvolgendo la seconda classificata: GEO-SERVICE s.r.l. di Marcianise (CE), con la quale, il giorno 26 aprile 2016 è ripresa l'attività di perforazione.

Durante l'attività di perforazione non sono stati prelevati campioni di terreno, ma dopo il successivo completamento a piezometri, è stata campionata la falda intercettata.

I rapporti di prova delle analisi eseguite sono riportati nello specifico Allegato 4: Rapporti di prova (esterno al presente documento e su supporto digitale CD); nel paragrafo 2.3 invece, dedicato ai risultati delle indagini condotte sulla matrice acqua sotterranea, si riporta una tabella riassuntiva dei risultati ottenuti.

Per quanto riguarda la ricostruzione stratigrafica di dettaglio dell'area limitrofa al corpo lacustre, nel paragrafo 1.13.1.1 si riporta la descrizione della litologia intercettata durante l'esecuzione delle perforazioni mentre i log di perforazione sono riportati in Allegato 2.

### 2.3 Acque Sotterranee

Per la caratterizzazione ambientale delle acque sotterranee sono stati eseguiti monitoraggi della falda tramite campionamento da pozzi preesistenti e dai piezometri di nuova realizzazione.

Di tutti i punti di monitoraggio disponibili al momento della redazione del Piano della Caratterizzazione, sono stati scelti, sulla base dell'ubicazione, della conoscenza delle caratteristiche costruttive ecc., n. 18 punti di monitoraggio (Figure 2)

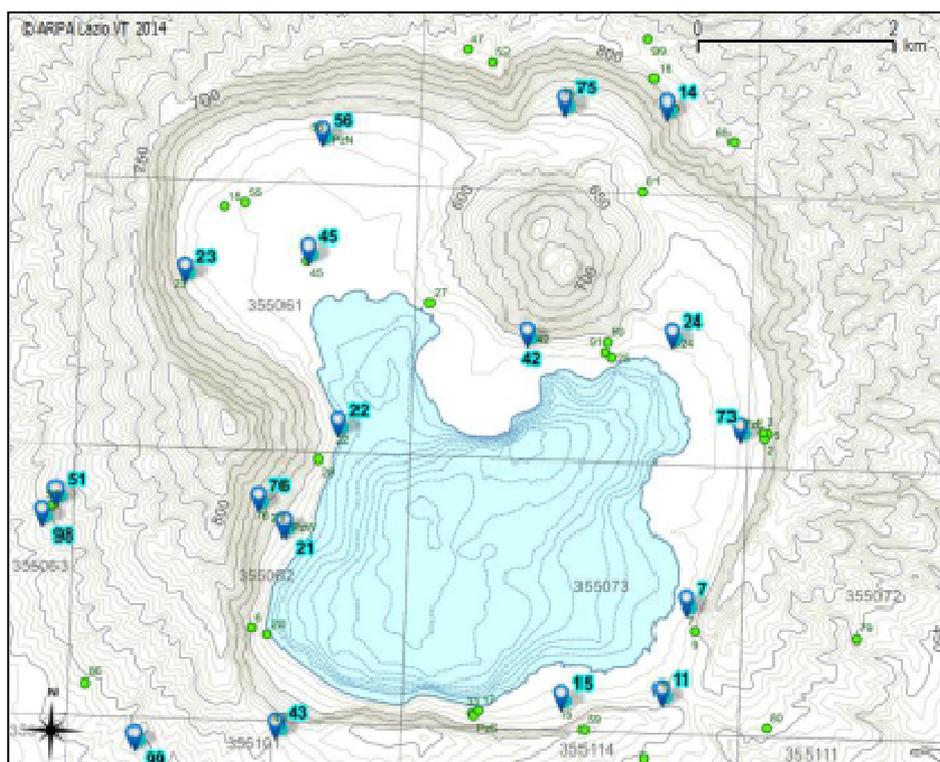


Figure 2 - Ubicazione e denominazione dei punti di monitoraggio delle acque sotterranee

Sui succitati punti di monitoraggio sono stati eseguiti campionamenti dell'acqua di falda da sottoporre ad analisi chimiche per la determinazione dei seguenti parametri:

**Tabella 2 – Analisi di laboratorio eseguite sui i campioni di acqua sotterranea**

ID	Parametro	Metodiche applicabili
06	Solidi disciolti totali	APAT CNR IRSA 2090/03
07	Alcalinità	APAT CNR IRSA 2010/03
08	COD	APAT CNR IRSA 5130/03
09	TOC	APAT CNR IRSA 5040/03
10	Calcio	APAT CNR IRSA 3030/03
11	Magnesio	APAT CNR IRSA 3030/03
12	Sodio	APAT CNR IRSA 3030/03
13	Potassio	APAT CNR IRSA 3030/03
14	Ione ammonio	APAT CNR IRSA 4030/03
15	Silice	APAT CNR IRSA 4130/03
16	Bicarbonati	APAT CNR IRSA 2040/03
17	Fluoruri	EPA 9056A/00 - APAT CNR IRSA 4020/03
18	Cloruri	EPA 9056A/00 - APAT CNR IRSA 4020/03
19	Nitriti	EPA 9056A/00 - APAT CNR IRSA 4020/03
20	Nitrati	EPA 9056A/00 - APAT CNR IRSA 4020/03
21	Bromuri	EPA 9056A/00 - APAT CNR IRSA 4020/03
22	Ortofosfati	APAT CNR IRSA 4110A/03
23	Solfati	EPA 9056A/00 - APAT CNR IRSA 4020/03
24	Alluminio	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
25	Antimonio	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
26	Argento	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
27	Arsenico	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
28	Bario	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
29	Berillio	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
30	Boro	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
31	Cadmio	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
32	Cesio	EPA 6020A/07
33	Cobalto	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
34	Cromo totale	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
35	Ferro	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
36	Gallio	EPA 6020A/07
37	Indio	EPA 6020A/07
38	Litio	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
39	Manganese	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
40	Mercurio	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
41	Molibdeno	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
42	Nichel	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000

ID	Parametro	Metodiche applicabili
43	Piombo	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
44	Rame	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
45	Rubidio	EPA 6020A/07
46	Selenio	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
47	Stagno	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
48	Stronzio	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
49	Tallio	EPA 6020A/07
50	Tungsteno	EPA 6020A/07
51	Uranio	EPA 6020A/07
52	Vanadio	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
53	Zinco	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000

I monitoraggi sono stati eseguiti con la seguente cadenza:

- su n. 8 punti di monitoraggio dei 18, campionamenti a cadenza trimestrale;
- sui n. 10 punti di monitoraggio dei 18 (comprensivi dei 4 piezometri di nuova realizzazione), campionamenti a cadenza semestrale.

L'investigazione della matrice "acqua sotterranea" ha previsto inoltre su 32 campioni (prelievo trimestrale) la speciazione dell'Arsenico (As).

L'indagine su tale matrice ha previsto anche la determinazione dei parametri idrodinamici e idro dispersivi tramite la realizzazione di:

- Prove di emungimento di lunga durata su 10 pozzi con misura della risalita per la determinazione della trasmissività idraulica e del coefficiente di immagazzinamento;
- Test di diluizione su pozzo singolo eseguiti su 2 punti di monitoraggio, con immissione di un tracciante (cloruro di sodio);
- Prova di tracciamento con cloruro di sodio su coppia pozzo d'immissione – pozzo di monitoraggio sottogradiente.

## 2.4 Acque Superficiali

Tale matrice ambientale è stata investigata, come previsto dal Piano d'indagine del PdC, tramite l'esecuzione di un monitoraggio idrochimico delle acque superficiali del lago di Vico.

Il prelievo dei campioni delle acque lacustri è stato effettuato con l'ausilio di un'imbarcazione adeguatamente attrezzata sia da un punto di vista tecnico, che in riferimento ai dispositivi di sicurezza.

In riferimento al Manuale APAT "Metodi Biologici per le acque, Parte I", il campione è stato prelevato con l'ausilio di un campionatore selettivo di tipo Niskin. Per la caratterizzazione delle

acque lacustri sono state selezionate 10 stazioni di campionamento in punti a maggior rappresentatività per l'eventuale contaminazione del corpo idrico e per le misure dei parametri chimici e chimico-fisici necessari alla definizione del modello idrogeochimico del lago di Vico.

Il programma di prelievo dei campioni d'acqua da sottoporre a determinazione analitica di laboratorio ha previsto la realizzazione di:

- 4 campagne di prelievo con cadenza trimestrale nell'arco dell'anno di osservazione in 2 punti ubicati in corrispondenza della massima profondità del lago, con il prelievo su un massimo di 5 orizzonti, per un totale di 40 campioni rappresentativi per i quali è stato definito uno specifico set analitico (SET 1);
- 8 campionamenti delle acque superficiali del lago in altrettante stazioni di monitoraggio (per un totale di 8 campioni), in cui è previsto il solo SET 2.

**Tabella 3 - Analisi eseguite sui campioni di acqua di lago (da PdC)**

ID	Parametro	SET	Metodiche applicabili
01	Solidi disciolti totali	SET 1	APAT CNR IRSA 2090A/03
02	Alcalinità	SET 1	APAT CNR IRSA 2010/03
03	COD	SET 1	APAT CNR IRSA 5130/03
04	TOC	SET 1+SET 2	APAT CNR IRSA 5040/03
05	Calcio	SET 1	APAT CNR IRSA 3030/03
06	Magnesio	SET 1	APAT CNR IRSA 3030/03
07	Sodio	SET 1	APAT CNR IRSA 3030/03
08	Potassio	SET 1	APAT CNR IRSA 3030/03
09	Ione ammonio	SET 1	APAT CNR IRSA 4030/03
10	Silice	SET 1	APAT CNR IRSA 4130/03
11	Bicarbonati	SET 1	APAT CNR IRSA 2040/03
12	Fluoruri	SET 1	EPA 9056A/00 - APAT CNR IRSA 4020/03
13	Cloruri	SET 1+SET 3	EPA 9056A/00 - APAT CNR IRSA 4020/03
14	Nitriti	SET 1	EPA 9056A/00 - APAT CNR IRSA 4020/03
15	Nitrati	SET 1	EPA 9056A/00 - APAT CNR IRSA 4020/03
16	Bromuri	SET 1	EPA 9056A/00 - APAT CNR IRSA 4020/03
17	Ortofosfati	SET 1	APAT CNR IRSA 4110A/03
18	Solfati	SET 1	EPA 9056A/00 - APAT CNR IRSA 4020/03
19	Alluminio	SET 1	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
20	Antimonio	SET 1	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
21	Argento	SET 1	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
22	Arsenico	SET 1+SET 2	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
23	Bario	SET 1	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
24	Berillio	SET 1	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
25	Boro	SET 1	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
26	Cadmio	SET 1+SET 2	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000

ID	Parametro	SET	Metodiche applicabili
27	Cesio	SET 1	EPA 6020A/07
28	Cobalto	SET 1	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
28	Cromo totale	SET 1	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
29	Ferro	SET 1	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
30	Gallio	SET 1	EPA 6020A/07
31	Indio	SET 1	EPA 6020A/07
32	Litio	SET 1	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
33	Manganese	SET 1	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
34	Mercurio	SET 1	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
35	Molibdeno	SET 1	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
36	Nichel	SET 1+SET 2	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
37	Piombo	SET 1+SET 2	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
38	Rame	SET 1	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
39	Rubidio	SET 1	EPA 6020A/07
40	Selenio	SET 1	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
41	Stagno	SET 1	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
42	Stronzio	SET 1	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
43	Tallio	SET 1	EPA 6020A/07
44	Tungsteno	SET 1	EPA 6020A/07
45	Uranio	SET 1	EPA 6020A/07
46	Vanadio	SET 1	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
47	Zinco	SET 1	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
48	Alifatici clorurati	SET 1	EPA 624 APAT CNR IRSA 5150

Anche per le acque lacustri sono state effettuate specifiche valutazioni riguardo la geochimica dell'arsenico (As) e le abbondanze relative di arsenico trivalente As(III) e pentavalente As(V).

In particolare, sia sui 40 campioni di acqua di lago prelevati sulle verticali dei punti di massima profondità, sia sui 32 campioni di acqua sotterranea, è stata effettuata la speciazione dell'arsenico, utilizzando la combinazione di due tecniche analitiche (cromatografia ionica, HPLC, e ICP-MS, Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer).

## 2.5 Sedimento Lacustre

Per la caratterizzazione dei sedimenti di lago è stata realizzata una campagna di indagine estesa all'intera area del bacino lacustre che ha previsto il prelievo di 10 carote di sedimento di fondo lago, dalle quali si sono formate in laboratorio due campioni, uno rappresentativo del *top* e uno rappresentativo del *bottom*.

I campioni di sedimento sono stati sottoposti ad analisi chimiche e, in numero ridotto, anche ad analisi radiometrica per la datazione dei relativi orizzonti; l'ubicazione dei punti di prelievo è riportata in Figure 3:

Sui campioni prelevati sono state eseguite analisi di laboratorio finalizzate alla determinazione degli analiti riportati nella seguente tabella:

**Tabella 4 - Analisi eseguite sui campioni di sedimento**

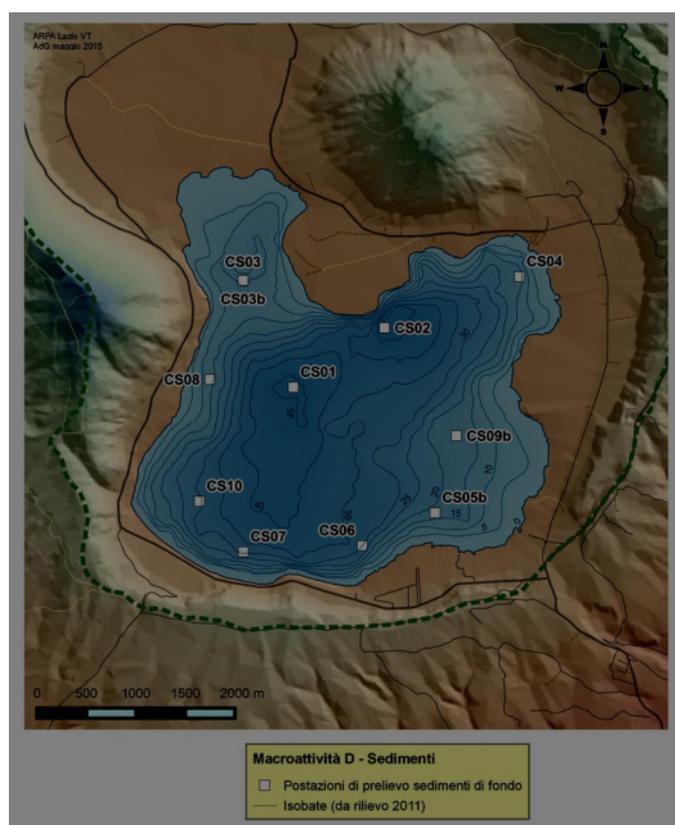
ID	Parametro	Metodiche applicabili
01	Peso specifico	APAT CNR IRSA Q.64
02	Capacità scambio cationico	DM 13/09/1999
03	Tessitura	ICRAM (2001-2003)
04	pH	APAT CNR IRSA Q.64
05	Potenziale redox	APAT CNR IRSA Q.64
06	Conducibilità elettrica specifica	APAT CNR IRSA 2030/2003
07	Bicarbonati	DM 13/09/1999
08	TOC	APAT CNR IRSA Q.64
09	Fenantrene	EPA 525 – APAT CNR IRSA 5080
10	Antracene	EPA 525 – APAT CNR IRSA 5080
11	Fluorantene	EPA 525 – APAT CNR IRSA 5080
12	Benzo (a) antracene	EPA 525 – APAT CNR IRSA 5080
13	Benzo (a) pirene	EPA 525 – APAT CNR IRSA 5080
14	Benzo (b) fluorantene	EPA 525 – APAT CNR IRSA 5080
15	Benzo (k) fluorantene	EPA 525 – APAT CNR IRSA 5080
16	Benzo (g,h,i) perilene	EPA 525 – APAT CNR IRSA 5080
17	Crisene	EPA 525 – APAT CNR IRSA 5080
18	Dibenzo (a,e) pirene	EPA 525 – APAT CNR IRSA 5080
19	Dibenzo (a,l) pirene	EPA 525 – APAT CNR IRSA 5080
20	Dibenzo (a,i) pirene	EPA 525 – APAT CNR IRSA 5080
21	Dibenzo (a,h) pirene	EPA 525 – APAT CNR IRSA 5080
22	Dibenzo (a,h) antracene	EPA 525 – APAT CNR IRSA 5080
23	Indenopirene	EPA 525 – APAT CNR IRSA 5080
24	Pirene	EPA 525 – APAT CNR IRSA 5080
25	Sommatoria IPA	EPA 525 – APAT CNR IRSA 5080
26	Alluminio	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q.64
27	Arsenico	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q.64
28	Bario	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q.64
29	Cadmio	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q.64
30	Cobalto	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q.64
31	Ferro	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q.64
32	Manganese	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q.64
33	Nichel	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q.64
34	Piombo	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q.64

ID	Parametro	Metodiche applicabili
35	Rame	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q.64
36	Selenio	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q.64
37	Zinco	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q.64
38	Alifatici clorurati	EPA 624 - APAT CNR IRSA 5150

Gli IPA sono stati determinati solo sui campioni rappresentativi del top mentre gli alifatici clorurati sono stati ricercati esclusivamente sui due campioni prelevati in prossimità dell'Ex Magazzino materiali difesa N.B.C.

Come su anticipato, su 4 campioni estratti da 2 carote, rappresentativi del top e del bottom sono state eseguite le datazioni radiometriche ( $^{14}\text{C}$ ) della sostanza organica (con correzione del rapporto  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ). L'esecuzione di tali analisi è stata affidata all'Università La Sapienza di Roma.

Inoltre su 2 campioni prelevati si è eseguita la speciazione dell'arsenico utilizzando la combinazione di due tecniche analitiche: Cromatografia Ionica (HPLC) e ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer).



**Figure 3 - Ubicazione delle postazioni di campionamento dei sedimenti di fondo lago**

Nella seguente tabella si riportano gli identificativi delle postazioni e dei campioni prelevati:

**Tabella 5 - Ubicazione delle postazioni e di campionamento dei sedimenti di fondo lago**

<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>ID</b>	<b>DATA</b>	<b>Prof</b>
268975	4690412	<b>CS04</b>	27/8/2014	17
267386	4687668	<b>CS06</b>	27/8/2014	30
268337	4688787	<b>CS09</b>	26/8/2014	17
268337	4688786	<b>CS09b</b>	12/9/2014	17
268103	4688004	<b>CS05</b>	26/8/2014	17
268123	4688003	<b>CS05b</b>	12/9/2014	17
265848	4689368	<b>CS08</b>	29/9/2014	14
266181	4690376	<b>CS03</b>	28/8/2014	16
266182	4690375	<b>CS03b</b>	29/9/2014	16
265741	4688120	<b>CS10</b>	30/9/2014	30
266185	4687606	<b>CS07</b>	30/9/2014	36
266689	4689289	<b>CS01</b>	30/10/2014 e 24/11/2014	45
267611	4689893	<b>CS02</b>	24/11/2014 e 09/01/2015	47

### 3 RISULTATI

Di seguito si descrivono brevemente i risultati ottenuti dall'esecuzione dell'Indagine di caratterizzazione del Bacino del Lago di Vico, per singola matrice ambientale investigata.

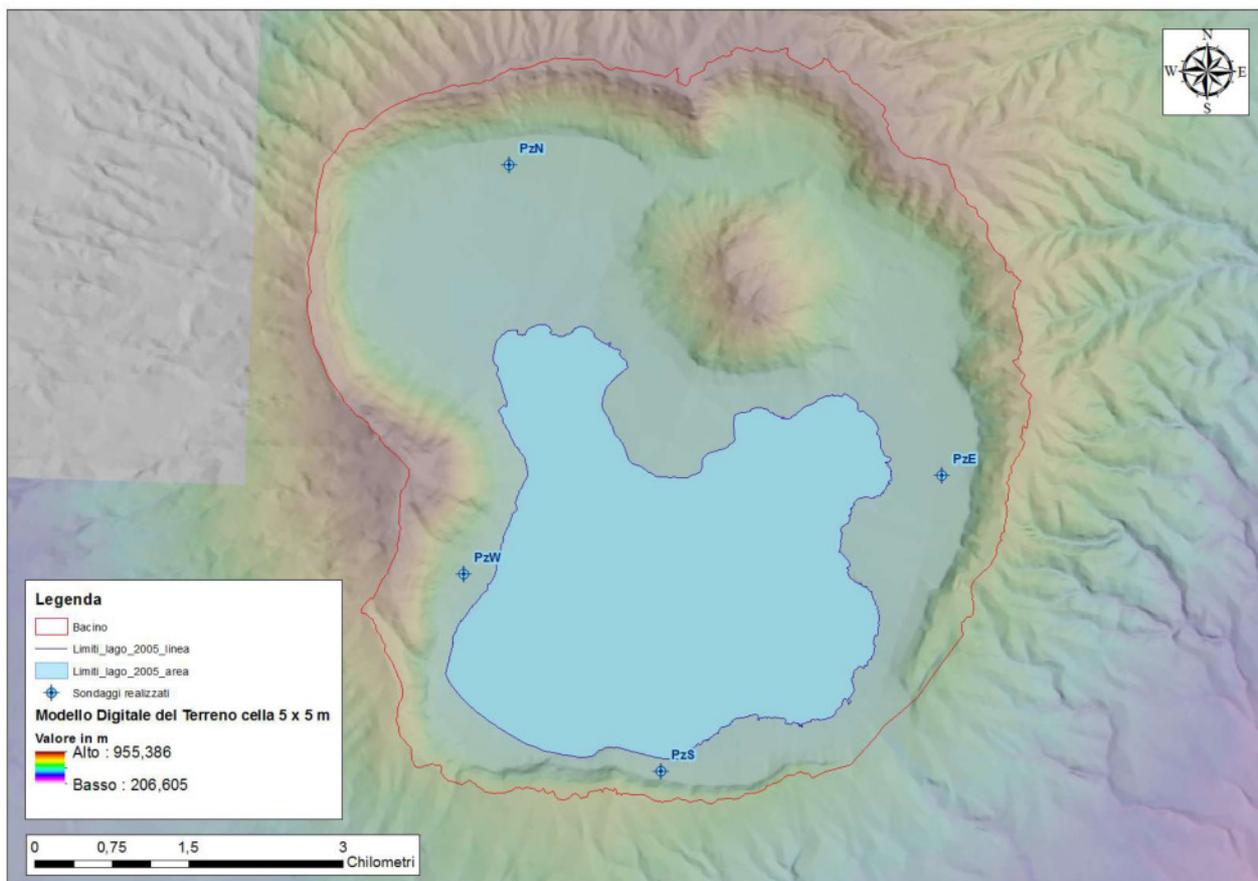
Tutti i rapporti di prova delle analisi chimiche effettuate sulle diverse matrici ambientali investigate sono riportati in allegato 4 solo su supporto digitale (CD); nei successivi paragrafi, per singola matrice, si riporta una tabella riassuntiva dei risultati ottenuti più significativi.

#### 3.1 Suolo Profondo

Durante l'esecuzione delle indagini i sondaggi/piezometri realizzati sono stati rinominati, pertanto di seguito si riporta una tabella riassuntiva di tutti i riferimenti delle perforazioni eseguite; mentre per visionare l'ubicazione dei punti d'indagine si rimanda alla Figure 4 e Tabella 6.

**Tabella 6 - Identificazione sondaggi geognostici e piezometri**

IDENTIFICATIVO		TIPO	PROF.(M) Di progetto	PROF.(M) raggiunta	Coordinate		Ditta esecutrice
Da capitolato	In campo				X	Y	
S1/PZ1	<b>PzE</b>	<i>piezometro</i>	25	25	269890	4690050	ESM
S2/PZ2	<b>PzS</b>	<i>piezometro</i>	35	36	267082	4686956	Geoservice
S3/PZ3	<b>PzN</b>	<i>piezometro</i>	60	52	265606	4692904	Geoservice
S4/PZ4	<b>PzW</b>	<i>piezometro</i>	30	37	265165	4688890	Geoservice



**Figure 4 – Ubicazione dei sondaggi geognostici e piezometri**

Le attività di perforazione del sondaggio/piezometro S1/PZ1 (PzE) sono state eseguite dalla ditta ESM.



**Figure 5 – Fasi di completamento del piezometro PzE**

Tutte le stratigrafie di dettaglio ricavate dalle perforazioni eseguite descriventi la stratigrafia dell'area investigata, sono riportate nell'allegato 2 "log di perforazione".

Il giorno 26 aprile 2016, a seguito della consegna lavori, si è deciso di riprendere le attività di perforazione dal piezometro più profondo PzN ubicato nella proprietà dei Sig.ri Totonelli, nel comune di Caprarola (VT). La perforazione è stata eseguita a secco e con corona da 101 mm. Per l'estrazione delle carote è stata utilizzata dell'acqua prelevata dal pozzo di proprietà dei Sig.ri Totonelli, accumulata in due cubitainers da 1000 litri.

In Figure 6 si riporta la fase di approntamento del piezometro PzN.



**Figure 6 - Approntamento piezometro PzN**

Alla profondità di circa 17 m dal p.c. si è riscontrata la presenza di falda freatica in sabbie cineritiche grigie (da grossolane a fini); il perforo è stato dunque incamiciato e si è proseguita la perforazione a rotazione, rilevando poca variazione litologica, fino a raggiungere la profondità di circa 48 m.

Il giorno 28 aprile 2016, dopo aver rilevato una soggiacenza stabilizzata di circa 17 m, è ripresa la perforazione in zona satura del sondaggio PzN.

Non rilevando significative variazioni litologiche, si è deciso di concerto con il Prof. Piscopo, arrestare la perforazione a circa 52 m dal piano campagna (rispetto alla profondità di 60 m prevista dal PdC); si è dunque avviato il completamento del piezometro, posizionando la tubazione finestrata, in PVC atossico da 4 pollici a partire da 16 m di profondità (Figure 7).

Per il riempimento dell'intercapedine foro – tubo è stato utilizzato del ghiaietto siliceo lavato e calibrato (Figure 8).



**Figure 7 - dettaglio della tubazione utilizzata**



**Figure 8 - dettaglio del ghiaietto utilizzato**

Il boccapozzo interrato è stato posizionato in adeguata cameretta prefabbricata in cemento, a sezione quadrata 30 cm x 30 cm, collocata all'interno di apposito scavo e cementata in modo da risultare con la faccia superiore “a filo” rispetto al piano campagna; la sommità della testa tubo risulta circa 10 cm al di sotto del p.c. Il pozzetto è stato dotato di coperchio in ghisa carrabile.



**Figure 9 - dettaglio bocca pozzo PzN**

Terminate le operazioni per la realizzazione del PzN, si è proceduto con la perforazione del PzW ubicato in zona demaniale del comune di Ronciglione.

Le attività di perforazione sono state eseguite rotazione a secco con utilizzo di una corona da 101 mm. La falda freatica è stata rinvenuta alla profondità di 25 m dal piano campagna nelle sabbie cineritiche di colore grigio. La perforazione è stata spinta alla profondità massima di 37 m dal piano campagna. Il foro è stato completato a piezometro con tubazione in PVC atossico da 4" posizionando la tubazione micro fessurata a partire da 21 m di profondità; per il riempimento dell'intercapedine foro – tubo è stato utilizzato del ghiaietto siliceo calibrato e lavato.

Al termine dell'attività di condizionamento del piezometro PzW, è stato installato un chiusino metallico (20 cm x 20 cm) vedi Figure 10.



**Figure 10 - dettaglio del bocca pozzo PzW**

Tra i giorni 3 e 4 maggio 2016 è stata eseguita la perforazione del sondaggio S2/PZ2 completato a piezometro PzS. Durante la perforazione è stata riscontrata la presenza della falda freatica alla profondità di 22 m dal piano campagna; tale sondaggio/piezometro è stato spinto alla profondità massima di 36 m dal p.c.; per il completamento a piezometro la tubazione finestrata è stata posizionata da 21 m di profondità. Anche per quest'ultimo piezometro è stato utilizzato per il riempimento dell'intercapedine foro – tubo del ghiaietto siliceo calibrato e lavato.

Per la chiusura e protezione è stato installato un pozzetto (30cm x 30cm) con coperchio in ghisa carrabile (vedi Figure 11).



**Figure 11 - dettaglio del bocca pozzo PzS**

Successivamente all'attività di realizzazione dei piezometri si è proceduto con l'attività di sviluppo degli stessi per garantire una idonea connessione idraulica con l'acquifero; si è utilizzata, quindi, una elettropompa sommersa e si è proceduto con pompaggio continuo a bassa portata fino ad ottenimento di acqua limpida.

Inoltre, attesa la stabilizzazione della falda investigata, è stata eseguita la misurazione della soggiacenza della tavola d'acqua (s) in tutti i piezometri realizzati.

Tali misure sono riportate nella seguente tabella:

**Tabella 7 - misure della soggiacenza**

PIEZOMETRO	S (m da b.p.)
PzN	15.24
PzS	22.63
PzW	27.37
PzE	16.00

### 3.1.1 Ricostruzione Stratigrafica

Dalle indagini effettuate è emerso che i terreni che costituiscono il substrato dell'area oggetto di studio hanno spessori variabili e sono costituiti in prevalenza dall'alto verso il basso da sabbie piroclastiche riportate, limi sabbiosi e sabbie limose.

Schematicamente le stratigrafie riportate in allegato 2 presentano:

- Nel piezometro denominato Nord si evidenzia uno strato vegetale di circa 0,9 m, un'alternanza di sabbie grosse e sciolte e sabbie fine mediamente addensate fino alla profondità dal piano campagna di circa 28 m, un'alternanza di limi sabbiosi consistenti e sabbie medio grosse sciolte fino alla profondità di circa 52 m.
- Nel piezometro denominato Sud si evidenzia uno strato di terreno vegetale di circa 0,8 m e un'alternanza di sabbie e sabbie limose da sciolte a mediamente consistenti fino alla profondità dal piano campagna di circa 36 m .
- Nel piezometro denominato Ovest si evidenziano uno strato di terreno vegetale di circa 1 m e un'alternanza di sabbie e limi da sciolte a mediamente consistenti intervallati da intervalli di pomici e scorie fino ad una profondità dal piano campagna di circa 37 m.
- Nel piezometro denominato Est si evidenzia un lieve strato di terreno vegetale, un'alternanza di sabbie fini e limi sabbiosi fino alla profondità dal piano campagna di circa 17 m e sabbie argillose con presenza di clasti di dimensioni centimetriche di natura vulcanica fino al fondo foro.

In Allegato 2 si riportano i log stratigrafici, ricavati durante le attività di perforazione.

Le indagini eseguite sulla matrice ambientale suolo profondo hanno permesso di definire l'assetto stratigrafico di dettaglio dell'area oggetto di studio e di misurare la soggiacenza media della falda di base intercettata in tutte le perforazioni eseguite.

### **3.2 Suolo Superficiale**

Come evidenziato in precedenza l'area investigata non è mai stata oggetto di massicce influenze antropiche salvo le attività agricole che si sono sviluppate nel tempo e che riguardano una porzione pari a circa il 40% del bacino oggetto di indagine.

Va evidenziato altresì la presenza di vaste aree naturali costituite sia da zone boscate che da paludi, che certamente non possono aver risentito di potenziali fonti di contaminazione.

Va certamente sottolineata la presenza nel bacino del sito militare ex magazzino materiali NBC che è stato oggetto di specifico studio.

#### **3.2.1 Sistematizzazione ed analisi dei dati di indagine**

Al fine di stabilire se le concentrazioni riscontrate per alcuni contaminanti rappresentino valori caratteristici di fondo naturale o antropico della zona oggetto di studio o se siano da attribuire ad attività svolte nel sito, i risultati ottenuti dalla caratterizzazione del suolo sono stati interpretati applicando ai data set validati dall'Agenzia idonei approcci statistici.

Per lo sviluppo di tale attività è stato coinvolto, con un contratto di ricerca, il Dipartimento di Ingegneria Civile e di Ingegneria Informatica (DICII) dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata".

Nelle seguenti tabelle sono riportati, per i soli elementi normati (si veda Tabella 1 dell'All. 5 al Titolo V della Parte IV del D.Lgs. 152/06), i valori di concentrazione riproporzionati allo scheletro, rispettivamente per le aree naturali (**AR1**), le aree agricole (**AR2**) e le aree residenziali e produttive (**AR3**). Nelle tabelle vengono inoltre indicati per ciascun campione, i codici identificativi, la profondità del campionamento (distinzione tra Top Soil, TS, e Suolo Superficiale, SS) e la % dello scheletro. Si sottolinea che i dati riportati sono stati calcolati a partire dai dati di concentrazione sul campione tal quale e della percentuale di scheletro di ciascun campione, contenuti nei certificati analitici che saranno allegati alla Relazione Tecnica Descrittiva finale.

**Tabella 8 - Valori di concentrazione (mg/kg ss.) per gli elementi normati (D.Lgs. 152/06) prelevati nelle Aree naturali (AR1) nel Top Soil (TS) e nel Suolo Superficiale (SS)**

DATI AREE NATURALI (AR1) TOP SOIL (TS)											
		As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Zn	V
	CSC (mg/Kg)	20	2	150	1	120	100	120	3	150	90
ID CAMPIONE	SCHELETRO										
S1 TS	47,99%	2,29	0,06	16,44	0,26	5,46	27,05	15,50	0,14	30,89	ND
S6 TS	47,85%	31,97	0,05	48,61	0,18	12,83	16,38	17,52	0,10	34,37	47,72
S10 TS	28,74%	15,82	0,12	15,61	0,19	12,68	66,70	19,95	0,37	27,15	ND
S12 TS	24,77%	29,26	0,09	32,35	0,02	17,98	42,73	22,04	1,41	54,24	ND
S15 TS	48,26%	21,84	0,19	8,59	0,25	7,71	31,31	14,80	<0,2	32,44	ND
S17 TS	54,19%	12,46	0,02	13,06	0,06	5,59	10,67	5,82	<0,2	33,81	ND
S20 TS	47,82%	8,77	0,09	46,50	0,03	6,63	12,16	8,98	0,27	40,91	56,36
S24 TS	46,87%	23,36	0,07	19,39	0,05	9,46	38,36	8,66	0,14	38,20	ND
S39 TS	47,06%	11,81	0,11	10,75	0,12	5,16	26,05	11,17	0,23	35,20	ND
S40 TS	22,28%	66,77	0,57	5,67	0,16	7,31	50,75	11,89	0,47	40,88	ND
S41 TS	31,10%	57,05	0,25	25,56	<0,02	10,82	50,23	32,73	0,37	46,37	ND
S42 TS	36,64%	14,45	0,05	22,30	0,06	19,32	35,23	27,50	0,22	43,97	ND
S43 TS	28,89%	9,32	0,18	29,16	0,17	18,21	45,23	23,97	0,48	51,77	ND
S44 TS	16,13%	11,32	0,10	38,24	0,17	27,93	66,26	33,38	0,42	71,37	ND
S45 TS	16,43%	30,17	0,14	45,38	0,27	28,25	50,40	29,75	0,59	65,10	ND
S46 TS	71,04%	5,33	0,06	10,60	0,06	3,88	11,82	8,60	0,10	20,51	ND
S47 TS	54,82%	29,64	0,03	22,28	0,16	6,33	77,72	9,85	0,10	26,16	ND
S48 TS	59,46%	5,76	0,03	3,73	0,05	6,12	14,80	7,34	<0,2	19,50	ND
S49 TS	74,18%	5,01	0,03	1,39	0,07	1,60	32,02	2,31	0,07	17,56	ND
S50 TS	48,99%	32,39	0,05	55,09	0,07	10,81	30,05	25,56	0,17	36,37	48,92
S51 TS	72,55%	5,96	0,04	15,18	0,03	12,98	20,83	11,67	0,28	19,27	28,27
S52 TS	59,53%	22,58	0,04	15,74	0,13	4,41	18,82	2,99	0,12	22,70	ND
S53 TS	58,60%	5,13	0,11	6,83	0,08	2,53	19,75	7,66	0,12	31,79	ND
S54 TS	66,88%	4,90	0,07	14,77	0,10	6,89	8,61	10,63	0,14	28,68	ND
S55 TS	48,27%	7,29	0,16	56,38	0,08	7,29	21,36	12,52	0,26	47,90	39,26
S56 TS	15,02%	309,32	0,30	59,23	0,61	47,59	106,22	36,88	2,63	65,60	84,55
S57 TS	38,65%	19,08	0,08	7,30	0,07	7,18	30,61	8,59	0,13	31,65	ND
S58 TS	38,83%	15,35	0,09	8,56	0,18	8,75	43,98	9,66	<0,2	37,31	ND
S59 TS	23,06%	35,93	0,23	10,62	0,36	14,39	44,01	22,62	<0,2	72,86	ND
S60 TS	69,65%	24,95	<0,06	6,50	0,02	2,77	108,97	7,25	<0,2	13,54	ND

DATI AREE NATURALI (AR1) SUOLO SUPERFICIALE (SS)											
		As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Zn	V
	CSC (mg/Kg)	20	2	150	1	120	100	120	3	150	90
ID CAMPIONE	SCHELETRO										
S1 SS	45,88%	3,54	0,10	14,07	0,25	6,71	10,34	32,26	0,17	37,13	ND
S6 SS	41,63%	<b>35,08</b>	0,04	63,63	0,09	15,35	23,87	22,47	0,09	37,42	60,71
S10 SS	48,07%	15,63	<0,06	20,20	0,05	11,06	26,74	10,75	0,30	28,82	ND
S12 SS	39,64%	<b>204,62</b>	0,06	17,99	0,07	12,31	19,19	21,73	1,74	33,86	ND
S15 SS	45,56%	<b>32,83</b>	0,14	8,17	0,53	8,06	30,49	16,28	<0,2	42,52	ND
S17 SS	45,50%	<b>28,56</b>	<0,06	10,74	<0,02	6,16	8,99	4,90	<0,2	36,95	ND
S20 SS	46,68%	8,48	0,03	43,56	0,04	8,48	15,73	8,96	0,20	41,70	57,59
S24 SS	45,45%	<b>43,09</b>	<0,06	18,44	0,02	11,89	19,15	10,20	0,22	33,71	ND
S39 SS	45,65%	<b>22,45</b>	<0,06	10,27	0,08	8,70	12,77	9,78	0,13	30,76	ND
S40 SS	36,96%	<b>57,56</b>	0,20	6,93	0,13	4,85	35,74	9,46	0,28	37,57	ND
S41 SS	19,43%	<b>109,58</b>	0,14	20,06	<0,02	13,38	47,78	44,40	0,48	54,07	ND
S42 SS	44,64%	14,84	<0,06	14,89	<0,02	17,49	28,51	21,81	0,23	40,74	ND
S43 SS	38,25%	4,61	0,04	20,56	0,25	12,35	20,13	16,67	0,45	29,33	ND
S44 SS	53,73%	5,69	0,03	18,14	0,06	17,72	31,14	21,24	0,26	33,92	ND
S45 SS	38,26%	10,31	<0,06	20,68	0,16	20,07	36,74	27,23	0,51	36,43	ND
S46 SS	77,59%	7,75	0,03	7,42	0,02	5,18	11,94	8,16	0,05	16,33	ND
S47 SS	53,81%	<b>46,19</b>	0,04	10,72	0,04	10,76	96,99	14,96	<0,2	27,20	ND
S48 SS	57,12%	14,58	0,05	12,14	0,07	11,02	23,97	11,96	<0,2	23,89	ND
S49 SS	64,32%	6,74	0,04	3,28	0,08	0,96	34,18	2,90	0,19	22,30	ND
S50 SS	49,86%	<b>32,29</b>	0,03	46,13	0,05	48,09	25,57	24,62	0,17	32,89	48,09
S51 SS	55,74%	<b>83,20</b>	0,06	22,17	0,07	27,57	37,88	31,11	0,48	39,26	45,59
S52 SS	54,01%	<b>47,37</b>	<0,03	14,26	0,13	6,21	15,96	1,98	0,10	32,47	ND
S53 SS	54,08%	4,27	0,04	10,33	0,10	12,35	3,86	3,90	<0,2	21,35	ND
S54 SS	77,33%	5,42	0,04	21,15	0,16	5,49	11,31	8,48	0,08	21,35	ND
S55 SS	44,76%	10,39	0,12	65,19	0,08	14,14	14,09	10,39	0,34	44,25	50,16
S56 SS	37,20%	<b>123,72</b>	0,14	10,36	0,27	25,62	46,47	27,69	1,88	53,88	65,94
S57 SS	33,62%	<b>25,09</b>	<0,06	16,00	0,08	15,20	17,52	14,80	0,18	33,26	ND
S58 SS	41,74%	<b>30,47</b>	<0,06	21,26	0,08	12,58	13,40	13,05	<0,2	37,64	ND
S59 SS	45,89%	<b>28,30</b>	0,15	8,50	0,43	10,33	24,46	17,37	<0,2	41,23	ND
S60 SS	84,96%	6,74	0,01	2,87	0,02	1,59	63,62	4,35	0,03	8,71	ND

**Tabella 9 - Valori di concentrazione (mg/kg ss.) per gli elementi normati (D.Lgs. 152/06) prelevati nelle Aree agricole (AR2) nel Top Soil (TS) e nel Suolo Superficiale (SS)**

DATI AREE AGRICOLE (AR2) TOP SOIL(TS)											
		As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Zn	V
	CSC (mg/Kg)	20	2	150	1	120	100	120	3	150	90
ID CAMPIONE	SCHELETRO										
S2 TS	29,66%	<b>39,81</b>	0,20	40,59	0,02	39,18	33,97	24,62	0,37	58,10	ND
S3 TS	50,06%	<b>25,32</b>	0,10	16,78	0,05	20,72	21,67	17,03	<0,2	43,59	ND
S4 TS	27,84%	<b>32,55</b>	0,07	19,56	0,20	27,13	50,08	47,34	0,28	54,12	69,49
S5 TS	34,56%	<b>37,50</b>	0,10	25,46	0,16	15,51	40,90	24,74	<0,2	43,13	ND
S7 TS	69,37%	17,64	0,02	29,40	0,05	6,03	18,62	15,22	0,09	21,13	35,22
S8 TS	41,47%	<b>51,56</b>	0,08	20,78	0,08	13,99	43,72	22,18	0,39	47,00	64,97
S9 TS	40,87%	9,70	0,30	35,60	0,09	25,49	46,89	81,60	0,44	57,18	61,50
S11 TS	37,78%	10,76	0,07	30,11	0,13	19,10	29,37	21,96	0,21	44,80	ND
S13 TS	37,33%	<b>78,53</b>	0,05	26,57	0,10	21,06	29,64	20,12	0,26	41,11	ND
S14 TS	35,59%	<b>28,08</b>	0,10	20,74	0,08	17,97	34,46	31,88	0,24	53,20	79,22
S18 TS	51,81%	13,49	0,07	49,64	0,09	10,89	20,38	22,22	0,14	40,48	48,67
S19 TS	27,46%	18,06	0,03	27,28	0,20	12,77	22,63	10,52	<0,2	46,57	ND
S25 TS	33,90%	<b>50,50</b>	0,12	32,92	0,06	15,47	34,24	24,52	0,44	51,55	ND
S26 TS	41,63%	<b>20,43</b>	0,06	11,32	0,06	18,85	31,11	12,96	<0,2	31,64	ND
S27 TS	41,11%	<b>25,15</b>	0,12	8,24	0,12	23,38	46,70	22,79	0,44	54,53	43,05
S28 TS	24,19%	<b>37,07</b>	0,14	20,47	0,12	17,13	56,03	29,80	<0,2	57,39	ND
S29 TS	49,14%	<b>21,97</b>	0,07	23,90	0,14	48,67	43,38	49,84	<0,2	51,37	ND
S30 TS	52,05%	<b>28,34</b>	0,09	19,28	0,16	13,04	92,07	9,78	0,18	30,93	ND
S31 TS	36,18%	<b>52,20</b>	0,09	44,29	0,06	72,75	13,59	24,82	<0,2	42,31	ND
S32 TS	50,82%	11,21	0,08	20,85	0,19	39,59	28,13	21,20	<0,2	48,79	ND
S33 TS	19,77%	<b>34,90</b>	0,25	11,47	<0,02	20,78	42,28	31,93	<0,2	54,64	ND
S34 TS	38,90%	<b>35,74</b>	0,21	13,87	0,02	14,79	38,19	18,70	<0,2	51,44	ND
S35 TS	48,32%	<b>22,69</b>	0,13	12,97	0,07	9,92	22,79	30,18	<0,2	38,45	ND
S36 TS	47,29%	<b>23,93</b>	0,05	16,34	0,06	22,35	19,13	9,75	<0,2	29,99	ND
S37 TS	54,81%	<b>21,83</b>	0,08	18,26	0,08	38,18	26,57	25,26	<0,2	43,88	ND
S38 TS	51,49%	<b>20,47</b>	0,06	27,17	0,07	18,05	27,12	22,51	0,14	36,29	ND
S61 TS	19,43%	11,92	0,21	26,26	0,14	41,33	53,25	50,19	1,10	52,13	61,15
S62 TS	23,37%	15,55	0,20	19,62	0,26	33,79	55,25	42,99	0,71	60,76	49,50
S63 TS	47,95%	7,76	0,04	18,42	0,19	24,88	49,60	19,93	0,22	41,69	47,62

DATI AREE AGRICOLE (AR2) SUOLO SUPERFICIALE (SS)											
		As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Zn	V
	CSC (mg/Kg)	20	2	150	1	120	100	120	3	150	90
ID CAMPIONE	SCHELETRO										
S2 TS	29,96%	33,48	0,04	39,22	0,03	33,27	34,39	21,99	0,56	55,12	ND
S3 TS	45,51%	27,52	0,03	10,35	0,03	25,94	22,61	12,70	<0,2	39,39	ND
S4 TS	37,66%	37,59	0,05	5,92	0,06	21,01	39,65	44,14	0,29	43,95	58,72
S5 TS	34,30%	50,85	0,03	53,09	0,11	37,52	16,82	7,75	<0,2	34,82	ND
S7 TS	54,19%	21,76	0,04	48,10	0,04	9,85	23,00	22,04	0,13	28,49	57,26
S8 TS	50,36%	49,54	0,04	23,23	0,07	13,35	26,31	16,78	0,40	37,68	61,55
S9 TS	51,90%	19,58	0,06	20,83	0,13	26,74	45,26	25,83	0,40	50,50	59,64
S11 TS	44,11%	13,97	0,02	21,96	0,05	13,92	20,18	11,18	0,12	32,53	ND
S13 TS	49,10%	53,44	<0,03	21,94	0,22	20,46	17,56	11,20	0,15	27,38	ND
S14 TS	35,59%	30,34	0,07	27,83	0,09	19,32	34,01	24,28	0,41	53,72	76,65
S18 TS	50,17%	16,94	0,04	36,28	0,10	11,36	23,97	21,13	0,26	44,80	52,32
S19 TS	24,88%	21,33	<0,03	29,67	0,17	12,40	15,55	7,59	0,17	44,10	ND
S25 TS	39,33%	45,93	0,05	24,03	0,03	15,29	33,25	24,81	0,49	48,47	ND
S26 TS	49,89%	21,10	0,04	23,30	0,04	43,44	23,00	10,07	<0,2	32,47	ND
S27 TS	51,85%	17,05	0,08	16,42	0,14	18,06	39,97	18,92	0,30	44,92	52,48
S28 TS	23,90%	40,64	0,09	18,57	0,10	67,19	47,94	18,57	<0,2	64,76	ND
S29 TS	44,56%	23,01	0,09	28,05	0,08	51,45	41,80	22,12	<0,2	52,50	ND
S30 TS	50,14%	26,58	0,05	21,14	0,14	7,28	17,90	9,77	0,13	31,81	ND
S31 TS	34,97%	52,28	0,08	32,58	0,24	27,77	17,82	24,91	<0,2	50,72	ND
S32 TS	50,22%	12,05	0,12	16,33	0,24	28,48	25,49	16,98	<0,2	44,95	ND
S33 TS	20,51%	51,27	0,26	9,62	0,08	17,33	57,31	30,37	<0,2	71,30	ND
S34 TS	50,62%	25,97	0,15	11,26	0,02	10,32	29,33	14,27	<0,2	43,21	ND
S35 TS	58,25%	19,33	0,05	7,93	0,03	11,98	12,44	8,93	<0,2	26,13	ND
S36 TS	48,94%	28,54	0,05	14,20	0,08	30,38	19,81	9,96	<0,2	38,14	ND
S37 TS	53,48%	17,03	0,04	10,56	0,10	14,47	27,54	19,35	<0,2	27,31	ND
S38 TS	50,23%	41,51	<0,03	28,52	0,13	25,43	20,50	12,34	0,15	27,97	ND
S61 TS	47,19%	6,87	0,11	10,98	0,10	27,36	26,25	46,05	0,86	39,34	67,60
S62 TS	45,76%	12,96	0,05	26,20	0,11	20,23	35,37	17,85	0,23	39,60	44,53
S63 TS	45,64%	8,10	0,03	17,12	0,41	21,52	34,62	15,06	0,39	40,55	47,62

**Tabella 10 - Valori di concentrazione (mg/kg ss.) per gli elementi normati (D.Lgs. 152/06) prelevati nelle Aree residenziali e produttive (AR3) nel Top Soil (TS) e nel Suolo Superficiale (SS)**

DATI AREE RESIDENZIALI E PRODUTTIVE (AR3) TOP SOIL (TS)											
		As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Zn	V
	CSC (mg/kg)	20	2	150	1	120	100	120	3	150	90
ID CAMPIONE	SCHELETRO										
S16 TS	22,93%	121,8	0,18	11,33	0,09	4,76	17,11	18,57	<0,2	40,08	ND
S21 TS	58,01%	115,1	0,13	26,08	0,13	12,60	21,50	30,19	<0,2	38,00	ND
S22 TS	51,35%	14,7	0,13	4,18	0,08	6,13	13,62	10,36	<0,2	25,06	ND
S23 TS	33,74%	64,7	0,11	20,41	<0,02	15,17	37,97	34,79	0,27	48,77	ND
S23bis TS	30,74%	40,3	0,04	29,85	0,22	20,43	58,87	58,11	0,29	48,55	ND

DATI AREE RESIDENZIALI E PRODUTTIVE (AR3) SUOLO SUPERFICIALE(SS)											
		As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Zn	V
	CSC (mg/kg)	20	2	150	1	120	100	120	3	150	90
ID CAMPIONE	SCHELETRO										
S16 SS	7,48%	98,1	0,20	14,90	<0,02	25,63	32,38	40,89	<0,2	40,25	ND
S21 SS	61,48%	142,1	0,13	40,83	0,07	34,36	24,65	41,33	0,45	49,61	ND
S22 SS	47,88%	24,3	0,28	5,00	0,16	5,11	14,33	12,82	<0,2	28,77	ND
S23 SS	37,61%	35,2	0,04	10,36	<0,02	7,11	18,84	14,97	0,13	42,24	ND

Come si può evincere dalle tabelle, per tutte e tre le aree considerate (AR1, AR2 e AR3) sono stati rilevati superamenti della CSC (20 mg/kg s.s.) per il parametro Arsenico in molti dei sondaggi effettuati. In particolare per questo parametro nelle aree naturali (AR1) circa il 48,3% dei valori (su un totale di 60 campioni analizzati) è risultato superiore alla CSC mentre per le aree agricole (AR2) e le aree residenziali (AR3) rispettivamente il 67,2% (su un totale di 58 campioni analizzati) e il 90% dei valori (su un totale di 10 campioni analizzati) hanno mostrato superamenti della CSC.

Sono stati inoltre registrati n. 2 superamenti della CSC (100 mg/kg s.s.) per il parametro Piombo (Pb) con valori di poco superiori a tale soglia, nelle sole aree naturali (AR1), mentre lo stesso parametro è risultato sempre conforme nelle aree antropizzate AR2 e AR3.

Si può concludere quanto segue:

- Per tutti gli analiti ricercati, tranne Pb e As, le concentrazioni misurate sono risultate sempre inferiori alle CSC in tutte e tre le aree caratterizzate, evidenziando quindi la conformità del terreno superficiale rispetto a tali parametri;

- Per il parametro Pb, le concentrazioni misurate nelle aree antropizzate (AR2 e AR3) sono risultate conformi alle CSC; gli unici superamenti sono stati segnalati in due campioni prelevati nell'area naturale A1 e per questo motivo sono probabilmente da ricondurre ad una anomalia locale di origine naturale
- Per il parametro As, si segnala invece la presenza di numerosi superamenti sia nella aree antropizzate (AR2 e AR3) che in quelle naturali (AR1).

Le indagini eseguite sulla matrice ambientale suolo superficiale, hanno evidenziato dei valori di Arsenico nel suolo piuttosto elevati con diversi superamenti del limite tabellare (CSC, Concentrazioni Soglia di Contaminazione) definito nella Tabella A dell'All. 5 al Titolo V della Parte IV del D.Lgs. 152/06 e s.m.i..

la estesa caratterizzazione di tale matrice ha permesso di definire i valori di fondo naturale dell'area che era una delle finalità dello studio eseguito necessaria alla valutazione complessiva degli esiti della caratterizzazione.

In Appendice 1 si riportano le risultanze dello studio realizzato per la definizione del fondo naturale eseguito con l'Università di Tor Vergata a cui si rimanda per gli approfondimenti tecnici sulla metodologia utilizzata.

Relativamente alle 20 prove di assorbimento, su pozzetti superficiali, si precisa che sono state eseguite con modalità diverse rispetto a quanto previsto dal PdC (par.5.2.5 del PdC), poiché il test di campo eseguito per verificare l'efficacia della prova, ha fatto emergere alcune difficoltà realizzative quali l'estrema lentezza esecutiva e una generale scarsa praticità; di conseguenza, tali prove sono state eseguite realizzando fori meno profondi e con attrezzatura manuale. La nuova procedura operativa è stata definita di concerto con il DEB ed è consistita nell'eseguire pozzetti con trivella manuale da 3" da condizionare successivamente con spezzone di tubazione in PVC da 2.5", lunga 1 m e finestrata per una lunghezza di 50 cm;

Di seguito in Figure 12 si riporta una foto della strumentazione utilizzata:



**Figure 12 - Trivella manuale Edelman usata per la realizzazione dei fori nei test di infiltrazione**

### **3.2.2 Valori di Fondo e Definizione del Bianco di Riferimento**

In accordo con le linee guida APAT-ISS (2006), il valore di concentrazione rappresentativa del fondo naturale per l'Arsenico è stato preso pari al 95° percentile delle concentrazioni misurate nelle aree naturali (AR1).

Avendo a riferimento i dati misurati e sinteticamente riportati in forma tabellare nel paragrafo precedente raccolti nella lunga fase di caratterizzazione delle matrici ambientali dell'area, Il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica dell'Università Tor Vergata di Roma è giunto alla definizione del valore di fondo naturale applicando le metodologie consolidate e già in uso presso i Siti di interesse Nazionale. Il Valore così determinato è risultato pari a 110,3 mg/kg s.s..

Tale dato, così come previsto dal D.Lgs.152/06 e s.m.i. e come riportato nel piano approvato è stato utilizzato come riferimento per la valutazione della qualità dei suoli nelle aree agricole (AR2) e nelle aree residenziali e produttive (AR3).

Dal confronto non sono emerse condizioni di contaminazione diffusa visto che tutti i valori riscontrati in fase di indagine nelle aree agricole (A2) sono risultati inferiori a tale dato di riferimentoma. Sono invece stati registrati 3 modesti superamenti nelle aree residenziali e produttive (AR3) in corrispondenza di sue sondaggi: S21 (sia nel TS che nel SS) e S16 per il solo TS per la cui ubicazione si rimanda alle cartografie allegate.

In merito a tali superamenti occorre evidenziare come nella effettiva valutazione delle concentrazioni di arsenico (S21 -pari a 115,1 mg/kg nel TS e a 142,1 mg/kg nel SS e in S16 - pari a 121,8 mg/kg nel TS) non si possa non tener conto del fatto che l'intera area è di origine vulcanica

ed quindi caratterizzata da valori significativi del metalloide anche in zone mai interessate da attività umane (valori fino a 309,3 mg/kg).

Si rimanda alla relazione completa riportata in allegato in Appendice 1.

### 3.3 Sedimenti

Un'aliquota dei campioni di sedimento prelevati su fondo del lago sono stati affidati al DEB dell'Università della Tuscia per l'esecuzione delle analisi granulometriche; l'elaborazione dei risultati delle analisi granulometriche ha consentito di mettere in luce l'omogeneità della granulometria dei sedimenti prelevati, risultati meno argillosi del previsto e definibili inequivocabilmente come franco limosi, come peraltro è riscontrabile nella Figure 13.

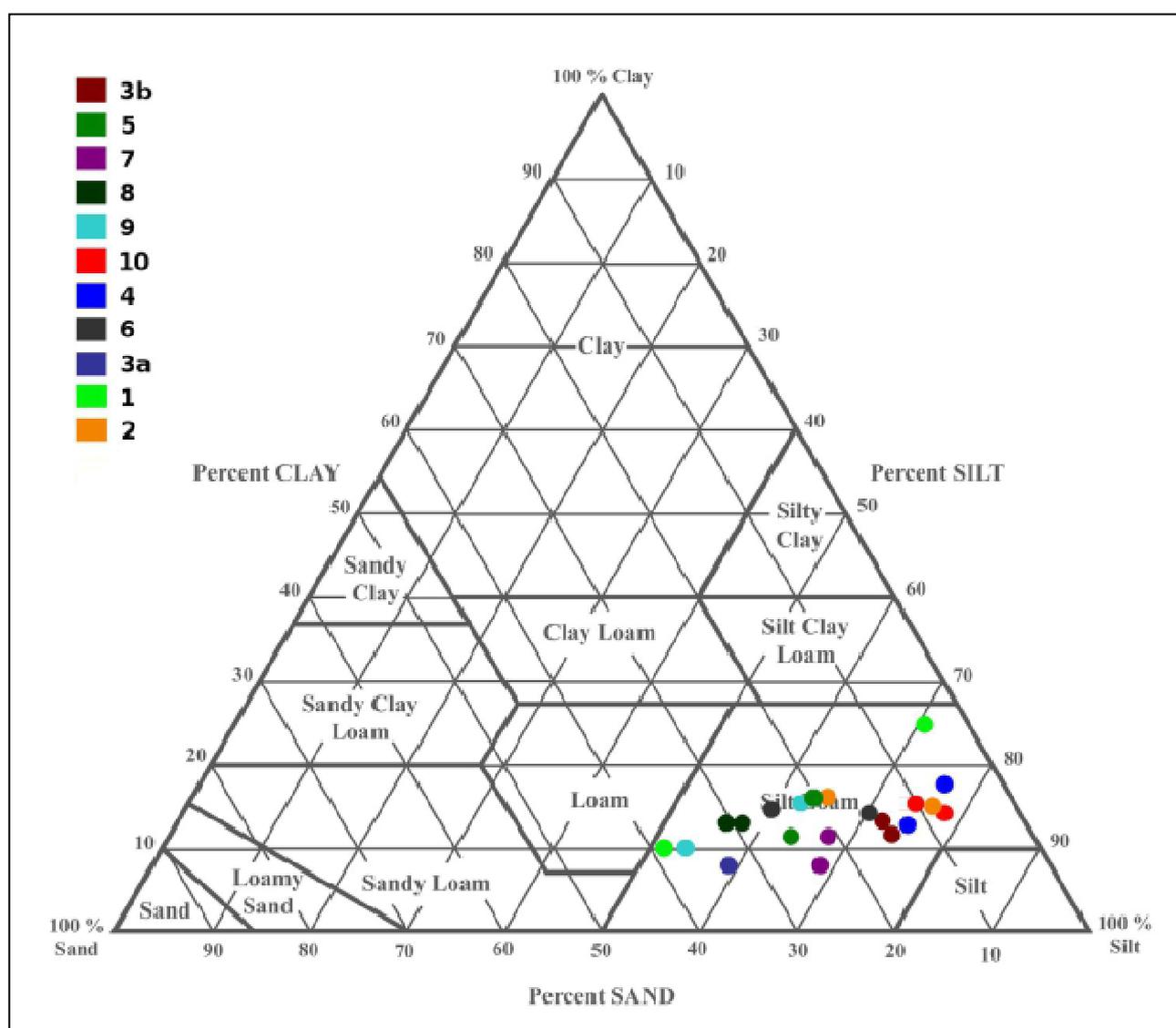


Figure 13 - Rappresentazione dei campioni di sedimento sul triangolo tessiturale USDA

Su 4 campioni rappresentativi del top e del bottom, estratti da 2 carote è stata eseguita la datazione radiometrica ( $^{14}\text{C}$ ).

Questa attività è stata affidata al prof. Barbieri dell'Università di Roma "Sapienza"; in Appendice 2 è riportato il lavoro completo eseguito dall'Università e la modellizzazione geochimica del Lago di Vico con particolare riguardo alle problematiche ambientali dell'arsenico.

Al fine di procedere con le valutazioni ecotossicologiche di cui al par. 5.7 del PdC, tra settembre e ottobre 2016 sono state effettuate con il supporto dei VV.FF. di Viterbo e degli operatori ARPA di Frosinone ulteriori 4 uscite per il prelievo di aliquote aggiuntive di sedimento sulle stesse postazioni già campionate; identificativi delle postazioni e dei campioni prelevati, coordinate e riferimenti sono riportati in Tabella 11

**Tabella 11 - Ricampionamento dei sedimenti per analisi ecotossicologiche (ED50 UTM33)**

X	Y	ID	Prof.	DATA
268123	4688003	<b>CS05b</b>	17	27/9/2016
267386	4687668	<b>CS06</b>	30	27/9/2016
266185	4687606	<b>CS07</b>	36	29/9/2016
265848	4689368	<b>CS08</b>	14	29/9/2016
265741	4688120	<b>CS10</b>	30	29/9/2016
268337	4688787	<b>CS09</b>	17	5/10/2016
268975	4690412	<b>CS04</b>	17	5/10/2016
266181	4690376	<b>CS03</b>	16	5/10/2016
266689	4689289	<b>CS01</b>	44	17/10/2016
267611	4689893	<b>CS02</b>	46	17/10/2016

Per questa ulteriore attività sono state recuperate le fustelle entro 24 h dal prelievo e i campioni sono stati inviati per le specifiche analisi ai laboratori Arpa specializzati.

### 3.3.1 Valutazioni ecotossicologiche

L'analisi ecotossicologica è stata eseguita sui 10 campioni di sedimento lacustre indicati nelle tabelle a seguire.

Per quanto riguarda il Test acuto con *D. magna* la risposta dei daphnidi dopo 24 ore è stata valutata come inibizione della mobilizzazione e misurata come percentuale di organismi immobili nel campione di prova (percentuale di effetto) al termine di ogni singolo periodo.

**Tabella 12 - Test con *Daphnia magna***

Sondaggio	% di inibizione	Note
CS01	< 10 %	<b>Non Tossico</b>

Sondaggio	% di inibizione	Note
CS02	< 10 %	<b>Non Tossico</b>
CS03b	< 10 %	<b>Non Tossico</b>
CS04	< 10 %	<b>Non Tossico</b>
CS05b	< 10 %	<b>Non Tossico</b>
CS06	< 10 %	<b>Non Tossico</b>
CS07	< 10 %	<b>Non Tossico</b>
CS08	< 10 %	<b>Non Tossico</b>
CS09b	< 10 %	<b>Non Tossico</b>
CS10	< 10 %	<b>Non Tossico</b>

Per il test di inibizione della crescita algale la risposta dell'alga *Pseudokirkneriella subcapitata* è stata valutata come inibizione della crescita (Ir %) e misurata come riduzione del tasso di crescita rispetto al controllo. In tabella si riassumono i valori limite presi in riferimento per la valutazione della tossicità dei campioni (OECD, 2006).

**Tabella 13 - Test con *Pseudokirkneriella subcapitata***

Sondaggio	% di inibizione della crescita	Note
CS01	2.56	<b>Debolmente Tossico</b>
CS02	-1.37	<b>Biostimolazione</b>
CS03b	9	<b>Debolmente Tossico</b>
CS04	4	<b>Debolmente Tossico</b>
CS05b	0.16	<b>Nessun effetto</b>
CS06	-1.38	<b>Biostimolazione</b>
CS07	-0.93	<b>Biostimolazione</b>
CS08	-5.02	<b>Biostimolazione</b>
CS09b	-6.18	<b>Biostimolazione</b>
CS10	-5.27	<b>Biostimolazione</b>

Relativamente agli indici di germinazione non c'è concordanza piena tra gli effetti dei sedimenti analizzati sui diversi semi utilizzati (Cucumis, Lepidium, Sorgo).

In test statistici per il confronto tra le medie della crescita radicale e il rispettivo controllo hanno evidenziato quanto segue:

I dati rilevati presentano una distribuzione non normale e pertanto per il confronto tra le due serie di osservazioni (campione/controllo) è stato utilizzato un test non parametrico: il test di Wilcoxon per ranghi (Wilcoxon rank sum test). Sono stati osservati tre diversi effetti:

- differenze significative tra “bianco e campione” con effetto eutrofizzante/stimolante (l’allungamento radicale del sedimento testato è maggiore che nel controllo).
- assenza di differenze significative (l’ipotesi nulla che le serie delle osservazioni tra campione e controllo appartengano alla stessa popolazione non può essere rifiutata)
- differenze significative tra “bianco e campione” con effetto inibente/tossico (l’allungamento radicale del sedimento testato è inferiore rispetto al controllo).

La relazione completa è riportata in Appendice 3.

### 3.3.2 Datazione dei sedimenti

Nell’ambito della convenzione con l’Università degli studi di Roma “Sapienza” si provveduto alla datazione dei sedimenti di lago al radiocarbonio ( $^{14}\text{C}$ ).

Una misurazione radiocarbonica viene definita come età radiocarbonica convenzionale (CRA). Le convenzioni CRA includono: (a) l’utilizzo dell’emivita di Libby, (b) l’utilizzo di acido ossalico I o II, o di un appropriato standard secondario come standard radiocarbonico moderno, (c) la correzione del frazionamento isotopico del campione ad un valore normalizzato o di base del -25,0 per mille relativo al rapporto di carbonio-12/carbonio-13 nello standard del carbonato VPDB – la formazione delle belemniti del Cretaceo a Peedee nel South Carolina, Stati Uniti), (d) zero BP (Before Present) che viene identificato nel 1950 DC e (e) il presupposto che i livelli globali di radiocarbonio siano costanti. Anche gli errori standard sono riportati nei risultati della datazione al radiocarbonio, indicati con valori “ $\pm$ ”. Questi valori sono derivati con metodi statistici.

I campioni che sono sottoposti ad indagine sono il CS01 e il CS02 ovvero quelli corrispondenti alle massime profondità. Di seguito si riportano i valori ottenuti.

Top CS01 (215) Age (B.P.) 2850 +/- 80

Bottom CS01 (215) Age (B.P.) 8250 +/- 75

Top CS02 (216) Age (B.P.) 3020 +/- 50

Bottom CS02 (216) Age (B.P.) 7020 +/- 85

### 3.4 Acque superficiali

Sono state eseguite tutte le campagne di monitoraggio e campionamento delle verticali d'acqua del lago previste.

Dai risultati della speciazione si evince che tutto l'Arsenico rilevato è riferibile alla valenza +5; non si è mai riscontrata, dunque, la presenza del più pericoloso Arsenico trivalente.

Il Piano di indagine prevedeva anche il monitoraggio e le misurazioni delle portate in diverse condizioni di flusso del fosso Scardenato e del Rio Vicano; poiché in tutto il periodo di osservazione le su citate aste fluviali sono risultate in stato di magra, non è stata possibile l'esecuzione delle su citate attività.

### 3.5 Acque Sotterranee

Per la valutazione dello stato qualitativo della matrice acqua sotterranea, l'attività svolta ha previsto il monitoraggio delle acque sotterranee del bacino tramite il campionamento di pozzi preesistenti e piezometri di nuova realizzazione.

Le quattro campagne di campionamento previste sono state eseguite come di seguito specificato:

- campagna n.1, trimestre "autunnale": 8 postazioni campionate nel periodo tra settembre e dicembre (2013);
- campagna n.2, trimestre "invernale": 13 postazioni campionate nel periodo tra dicembre 2014 e marzo 2015;
- campagna n.3, trimestre "primaverile": 13 postazioni campionate tra maggio e giugno 2015;
- campagna n.4, trimestre "estivo": 12 postazioni campionate su 14 previste: il Pz22 e la sorgente termale del Centro Studi Fogliano, risultata inattiva e il Pz51 (pozzo profondo del convento S. Angelo), presentava nuovamente problemi di quadro elettrico dovuti ad atti vandalici.

Di seguito, in Figure 14 e in Tabella 14, si riportano le postazioni di campionamento delle acque sotterranee:

**Tabella 14 - Postazioni campionamento delle acque sotterranee**

ID	X	Y	Tipo	NOTE	Profondità	Quota PC
23	264268	4691710	P	Pozzo dell'agriturismo "La Vita"	32	538

ID	X	Y	Tipo	NOTE	Profondità	Quota PC
21	265281	4689077	P	Vicino al PzW, in loc. Fontana Grazia Dei	48	535
11	269135	4687354	P	L'acqua risulta "ferrosa"	81	538
75	268159	4693433	P	Si tratta del P9 dello studio 2006/7 di Capelli, tra l'orlo calderico Nord e il Monte Venero (PT355030P1(P9)), ubicato c/o la foresteria dell'Ente Parco.	100	614
42	267761	4691044	P	Soggiacenza = 33m	40	542
43	265201	4687011	P	Pozzo in località Casaletto (sopra NBC). Soggiacenza 150-160 m	200	622
56	265679	4693109	P	Vicino PzN. Proprietari dichiarano presenza di 2 falde; quella captata, risulta a 40 m dal p.c.	60	532
73	269933	4690061	P	Vicino PzE	25	700
22	265833	4690126	P/S	Pozzetto termale c/o Centro Studi Fogliano (con risorgenza spontanea)	0	510
15	268123	4687314	P	Via del Parietario 2	35	525
51	262945	4689420	P	Pozzo del convento S. Angelo	278	635
7	269399	4688276	P	Acqua ferrosa	44	507

ID	X	Y	Tipo	NOTE	Profondità	Quota PC
14	269194	4693386	S	Bottino di presa della sorgente La Spina; esce al Fontanile Canale dell'area attrezzata Monte Venere.	0	815
99	263746	4686895	P	Pozzo privato uso agricolo	163	547
45	265520	4691903	P/S	Abbeveratoio/fontanile spontaneo (presso vecchio pozzo geotermico AGIP)	0	511
76	265019	4689352	S	Sorgente Santa Maria	0	624
24	269244	4691036	P	Proprietà davanti alla Bella Venere	27	534
98	262806	4689197	F	Fontanile Sant'Angelo, appena sotto l'omonimo convento	0	583

Sono state effettuate le determinazioni analitiche nonché le speciazioni dell'As dalle quali è emerso che la totalità dell'Arsenico rilevato è ascrivibile alla valenza +5, coerentemente con quanto emerso dai risultati delle “verticali” (acque superficiali).

Durante le fasi di trivellazione e realizzazione dei piezometri (PzE, PzW, PzN e PzS) è stata intercettata in tutti i punti di perforazione la falda freatica con una soggiacenza media della tavola d'acqua di 20.50 m dal piano campagna.

Nella Tabella 7 sono riportate le misure di soggiacenza della falda eseguite nei singoli piezometri.

L'investigazione di tale matrice, ha previsto anche la determinazione dei parametri idrodinamici e idrodispersivi degli acquiferi monitorati tramite la realizzazione di:

- prove di emungimento di lunga durata su 10 pozzi (single well) con misura della risalita per la determinazione della trasmissività idraulica e del coefficiente di immagazzinamento;
- test di diluizione su pozzo singolo, eseguiti su 2 punti di monitoraggio, con immissione di un tracciante (cloruro di sodio);

- prova di tracciamento con cloruro di sodio su coppia pozzo di immissione - pozzo di monitoraggio sottogradiante.

### 3.5.3 Prove di emungimento

Le prove di pompaggio sono state condotte utilizzando talvolta pozzi esistenti. Le prove più significative sono quelle condotte sui pozzi 56, Pz42 e Pz24.

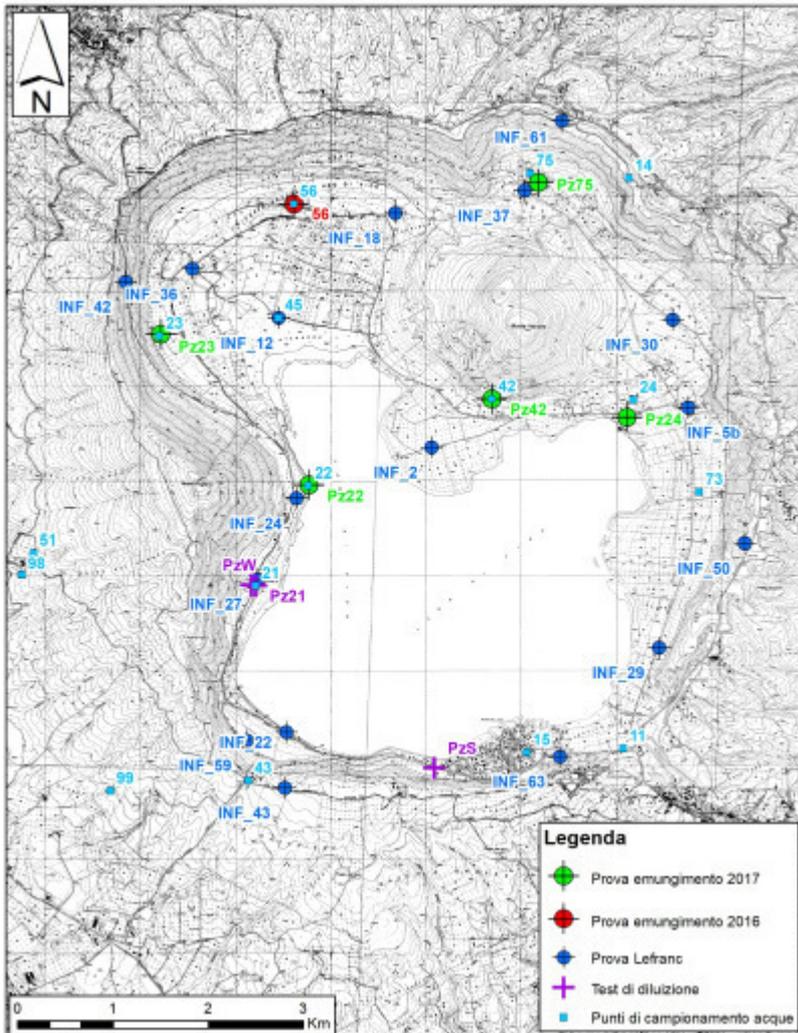


Figure 14 - Localizzazione delle prove idrauliche e dei punti di campionamento delle acque sotterranee

Tutti i dati ottenuti sono stati inviati al DEB per l'implementazione del modello idrogeologico dell'area oggetto di studio.

### 3.5.4 Test di diluizione e Prova di tracciamento

I test di diluizione con NaCl sono stati eseguiti con il supporto tecnico dell'Università della Tuscia, la quale ha messo a disposizione tre dottorandi coordinati da un'assegnista di ricerca i quali hanno affiancato i tecnici del Gruppo di lavoro "Lago di Vico" per la realizzazione di:

- test di diluizione con NaCl su pozzo singolo (PzS);

- test di diluizione con NaCl su pozzo singolo (PzW);
- test di diluizione con NaCl multipozzo (PzW-Pz21).

I test è consistito nella preparazione di due differenti soluzioni di NaCl da rilasciare nei piezometri PzS (0,5 kg con 12 m saturi) e PzW (1,0 kg con 8 m saturi), il monitoraggio periodico protratto per circa due settimane sulle postazioni di iniezione PzS e PzW, nonché su quella di osservazione Pz21; I dati dei test (andamento nel tempo di EC, pH, concentrazione di Ossigeno e temperatura) sono stati acquisiti in apposite uscite, adottando una procedura concordata con UniTuscia e con l'ausilio di bailers e sonda multiparametrica Hydrolab Quanta, e sono stati trasmessi in tempo reale agli operatori dell'università per la taratura del modello di trasporto.

### **3.6 Il modello Geochimico e Idrogeologico del Lago di Vico**

Gran parte dei risultati delle analisi e prove condotte dall'ARPA Lazio sono stati messi a disposizione dell'Università di Roma "Sapienza" per la determinazione del modello Geochimico e dell'Università degli Studi della Tuscia per la determinazione del modello Idrogeologico.

In particolare la convenzione con la "Sapienza" ha previsto, oltre alle definizione del modello Geochimico del Lago di Vico, anche la speciazione dell'As presente delle acque del lago nonché la datazione dei sedimenti di lago al radiocarbonio ( $^{14}\text{C}$ ) i cui risultati sono riportati nel paragrafo 3.3.2.

I risultati ottenuti hanno dimostrato la prevalenza nell'ambiente considerato della specie di As pentavalente cioè la forma meno dannosa per l'organismo.

Per quanto concerne l'implementazione del modello si rimanda all'Appendice 4.

Anche in questo caso tutti i dati ottenuti sono stati trasmessi al Dipartimento di scienze Ecologiche e Biologiche dell'Università della Tuscia per l'implementazione del Modello Numerico Idrogeologico. Tale modello completo di tutti i dati utilizza è riportato in Appendice 5.

### **3.7 Rilievo Batimetrico e Magnetometrico**

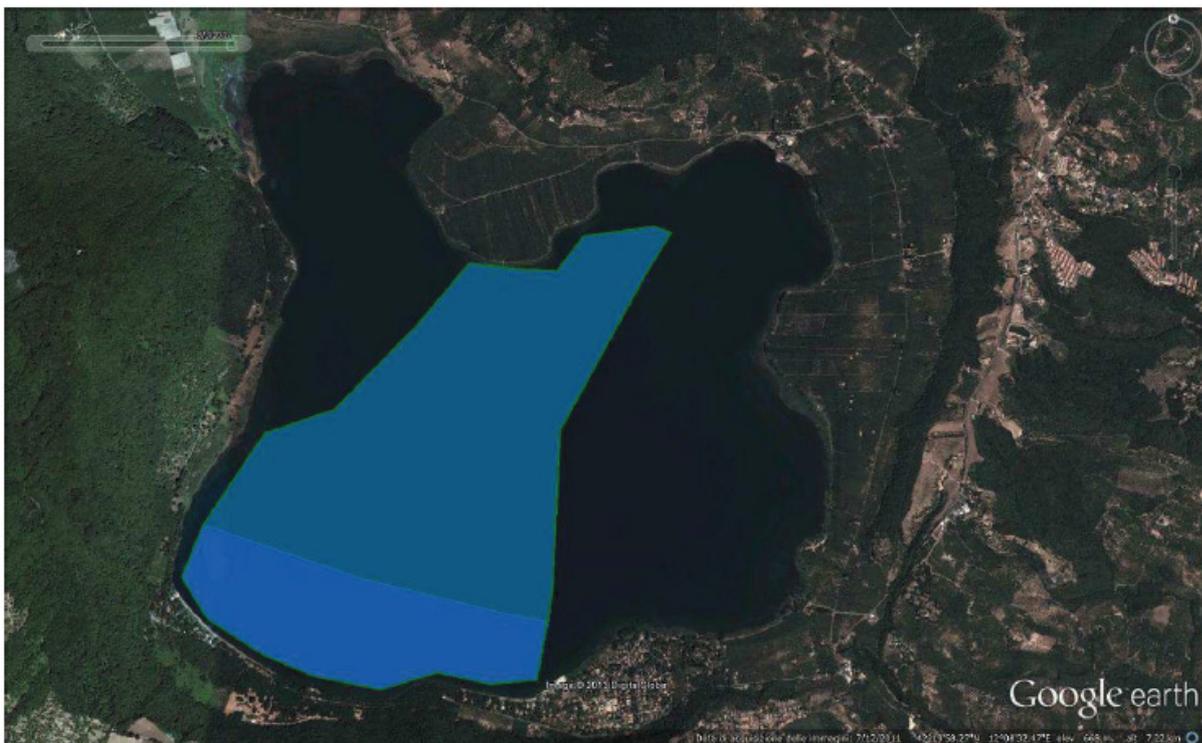
L'esecuzione del Piano d'Indagine del PdC del Bacino del Lago di Vico, ha previsto anche il rilievo batimetrico e magnetometrico del fondale del Lago. Tale attività si è resa necessaria per una dettagliata ricostruzione della morfologia del fondo lago e per escludere la presenza di anomalie magnetiche riconducibili a corpi sommersi correlabili ad attività non documentate relativamente all'Ex magazzino materiali difesa NBC.

Tale attività è stata eseguita, a seguito di una apposita convenzione di consulenza scientifica stipulata tra Arpa Lazio e l'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero (IAMC) del CNR di Napoli, dai ricercatori di quest'ultimo Istituto.

L'analisi dei dati ottenuti, in ogni caso, non ha evidenziato alcuna risposta di tipo magnetometrico, non sono quindi emerse criticità condizionanti lo svolgimento delle successive attività svolte sullo specchio d'acqua.

L'estensione finale dell'area investigata risulta pari a 5,8 Km<sup>2</sup> corrispondente al 48,5 % della superficie totale dello specchio d'acqua (11,9 Km<sup>2</sup>); per quanto la copertura non sia, allo stato, totale, l'indagine ha comunque coperto:

- il 57.0 % dell'area con profondità > 5 m;
- il 64.5 % dell'area con profondità > 10 m;
- il 76.0 % dell'area con profondità > 15 m.



**Figure 15 – Area Investigata**

Il rapporto tecnico completo è riportato, in Appendice 6.

#### 4 SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE (SIT)

Il Disciplinare Tecnico, allegato alla Convenzione tra Regione Lazio e ARPA Lazio per la Redazione ed Esecuzione del Piano di Caratterizzazione del Lago di Vico, al punto 1.3 prevedeva l'implementazione di un apposito Sistema Informativo Territoriale (di seguito SIT<sup>1</sup>) in grado di organizzare e gestire in modo omogeneo i dati acquisiti dalle indagini svolte e di restituirne le rappresentazioni cartografiche georiferite.

Già dalla prima fase di raccolta e sistematizzazione delle informazioni disponibili per un'area estesa come quella del bacino lacustre oggetto di studio, la scelta di utilizzare uno strumento informatico quale il GIS<sup>2</sup> si è rivelata proficua sotto vari aspetti quali ad esempio: sistematizzazione dei dati in relazione alle varie matrici ambientali investigate; aggiornamento dei dati in tempo reale; creazione di diversi livelli informativi su base tematica, di modelli di dati e di restituzioni cartografiche (layout); elaborazioni tridimensionali di dati spaziali (es. batimetria; DEM - modello digitale del terreno; Carte magnetometriche etc.).

Tale strumento è stato fondamentale nella pianificazione delle diverse attività previste nel piano di caratterizzazione, nonché nella raccolta, correlazione e interrogazione/interpretazione dei risultati finalizzate alla costruzione del Modello Concettuale Definitivo.

##### 4.1 Struttura del SIT del lago di Vico

Il SIT del Piano di Caratterizzazione del Lago di Vico (SIT Lago di Vico) è stato implementato utilizzando il software ARCGIS© 10.1 della ESRI. Il progetto "SIT Lago di Vico.mxd" è stato inserito in un'unica cartella denominata "SIT Lago di Vico". All'interno della cartella suddetta, come visibile in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, sono state prodotte 8 sottocartelle: una denominata "Cartografia di Base" che contiene la cartografia utilizzata come base cartografica, suddivisa per tematismi (Modello Digitale del Terreno, Ortofoto, Carta Tecnica Regionale etc.); una denominata "Layout" contenente le restituzioni cartografiche prodotte; le altre suddivise per singola attività prevista per le diverse matrici ambientali ed effettuata dal piano di caratterizzazione.

---

<sup>1</sup> Un SIT è "il complesso di uomini, strumenti e procedure (spesso informali) che permettono l'acquisizione e la distribuzione dei dati nell'ambito dell'organizzazione e che li rendono disponibili, validandoli, nel momento in cui sono richiesti a chi ne ha la necessità per svolgere una qualsivoglia attività" (Mogorovich P., Mussio P., 1988 - Automazione del Sistema Informativo territoriale. Elaborazione Automatica dei Dati Geografici, Masson, 1988).

Geographic Information System: "Il GIS è composto da una serie di strumenti software per acquisire, memorizzare, estrarre, trasformare e visualizzare dati spaziali dal mondo reale" (Burrough P., 1986).

<sup>2</sup> Geographic Information System: "Il GIS è composto da una serie di strumenti software per acquisire, memorizzare, estrarre, trasformare e visualizzare dati spaziali dal mondo reale" (Burrough P., 1986)

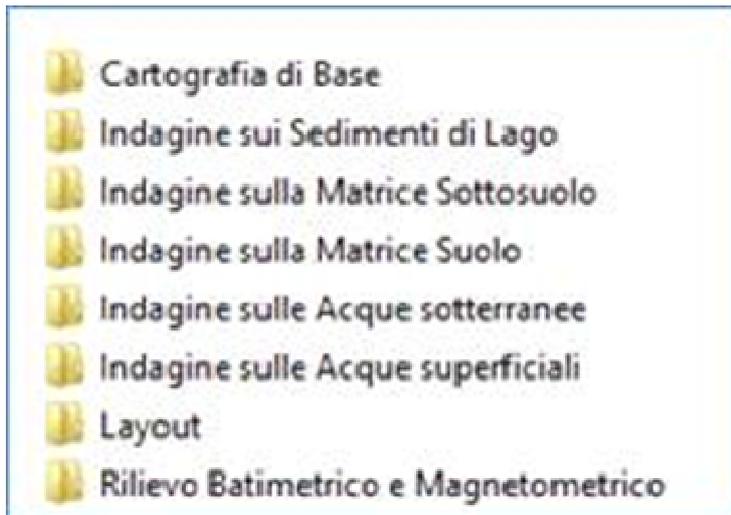


Figure 16 - Struttura semplificata del SIT lago di Vico

#### 4.2 Sistema di riferimento utilizzato

Il D.P.C.M. 10 Novembre 2011<sup>3</sup> ha introdotto l'obbligatorietà per le Pubbliche Amministrazioni di utilizzare per le rappresentazioni cartografiche il nuovo sistema ETRF 2000<sup>4</sup>. L'introduzione di tale sistema, motivato dall'aggiornamento degli scostamenti dovuti allo spostamento delle placche tettoniche, non comporta grandi differenze con i sistemi più comuni utilizzati in vario ambiti quali ad es. il sistema WGS-84<sup>5</sup>; infatti gli scostamenti lineari tra i due sistemi di riferimento risultano inferiori a 40 cm.

L'art. 2 del suddetto D.P.C.M. impone che *“a decorrere dalla data di pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana del presente decreto, il Sistema di riferimento geodetico nazionale adottato dalle amministrazioni italiane è costituito dalla realizzazione ETRF2000 - all'epoca 2008.0 - del Sistema di riferimento geodetico europeo ETRS89, ottenuta nell'anno 2009 dall'Istituto Geografico Militare, mediante l'individuazione delle stazioni permanenti l'acquisizione dei dati ed il calcolo della Rete Dinamica Nazionale”*.

In una nota esplicativa<sup>6</sup> l'Istituto Geografico Militare (I.G.M.) sottolinea che i codici relativi al sistema WGS-84 ed anche ED 50, sebbene abbiano avuto negli scorsi anni una notevole diffusione anche all'interno della Pubblica Amministrazione, non devono essere in nessun caso utilizzati per i

<sup>3</sup> Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 10 novembre 2011 “Adozione del Sistema di riferimento geodetico nazionale” pubblicato sulla G.U. Serie Generale n. 48 del 27-02-2012.

<sup>4</sup> ETRF2000 all'epoca 2008.0 (European Terrestrial Reference Frame 2000 all'epoca 2008.0) è un sistema di riferimento geodetico globale ETRS89 definito dall'Istituto Geografico Militare per il territorio nazionale e riferita al 1° gennaio 2008.

<sup>5</sup> WGS-84 (World Geodetic System 1984) è un sistema di coordinate geografiche geodetico, mondiale, basato su l'ellissoide di WGS84 elaborato nel 1984. Il sistema WGS84 non ha associata una rappresentazione cartografica ufficiale, ma comunemente viene utilizzata la rappresentazione UTM, che assume la denominazione UTM-WGS84.

<sup>6</sup> “Nota per il corretto utilizzo dei sistemi geodetici di riferimento all'interno dei software GIS” - Istituto Geografico Militare - Servizio Geodetico

dati relativi al territorio nazionale, neanche quando i dati stessi riportano, all'interno dei loro metadati, una generica indicazione al datum "WGS84". Le uniche versioni del Sistema Globale adottate in Italia sono infatti costituite dai Riferimenti ETRF89 e ETRF2000.

Per tale motivo il sistema di riferimento utilizzato è stato l'ETRS89/UTM Zone 33 N - EPSG<sup>7</sup> 25833.

### 4.3 Cartografia di base

La cartella denominata "Cartografia di base" contiene al suo interno delle sottocartelle con vari layers (livelli) informativi, come mostrato in Figure 17, sia in formato vettoriale che raster; nella fattispecie di seguito si riportano gli attributi dei singoli livelli.



Figure 17 - Sottocartelle all'interno della cartella "Cartografia di Base"

- Carta Tecnica Regionale (CTR):** Il livello informativo inerente alla Carta Tecnica Regionale della Regione Lazio, per i Comuni interessati dall'area di studio ovvero Caprarola e Ronciglione, sono state acquisite dal sito Open Data della Regione Lazio<sup>8</sup> sezione Territorio e Urbanistica. La cartografia ufficiale scaricata dal sito risulta essere georiferita con sistema di riferimento Monte Mario / Italy Zone 2 EPSG:3004. Purtroppo non sono indicati né l'anno di redazione della stessa, né alcun "metadato", ma solo la scala di risoluzione (1:5.000). Si è resa quindi necessaria una prima fase di conversione del dato dal sistema di riferimento Monte Mario / Italy Zone 2 EPSG:3004 al sistema di riferimento ETRS89/UTM Zone 33 N - EPSG 25833, così come previsto dall'art. 4 del D.P.C.M. sopra menzionato. La Figure 18 mostra uno screenshot delle CTR utilizzate in relazione al confine comunale (Caprarola in viola e Ronciglione in rosso).

<sup>7</sup> EPSG (European Petroleum Survey Group) è un codice convenzionale che identifica in modo univoco una proiezione e il relativo sistema di riferimento

<sup>8</sup> Open Data Lazio. Indirizzo web: <http://dati.lazio.it/catalog/it/dataset?category=Territorio+e+urbanistica>

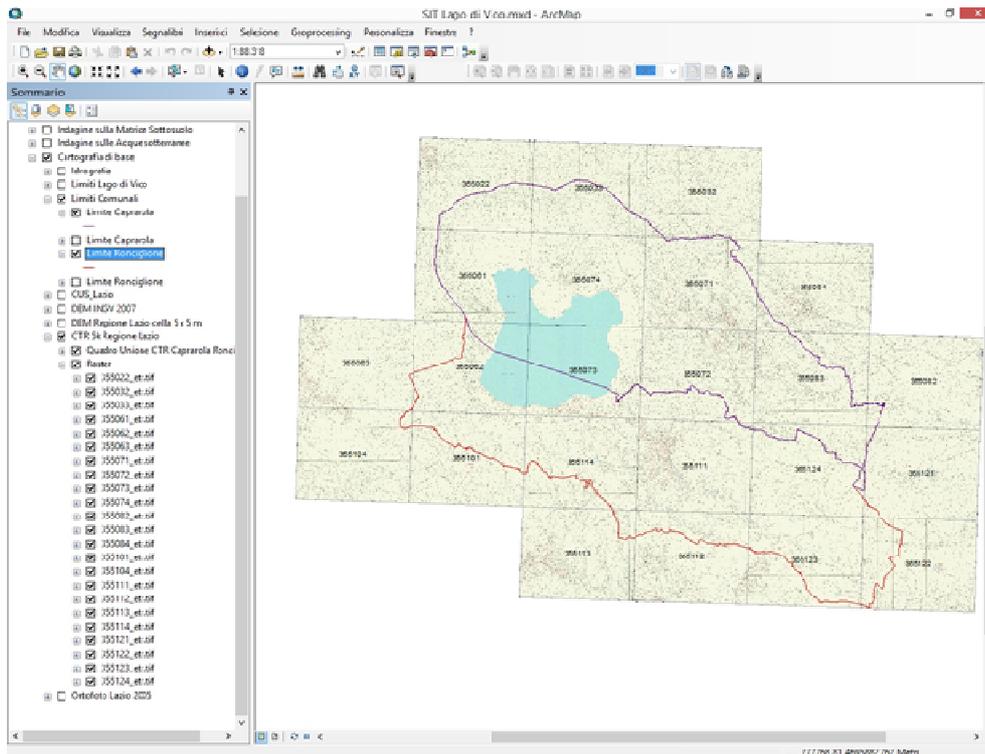


Figure 18 - Screenshot del SIT con attivazione dei livelli “CTR 5k Regione Lazio” e “Limiti Comunali”

- Ortofoto Lazio 2005:** la Figure 19 mostra il livello informativo inerente all’Ortofoto dell’area di studio con annesso perimetro del bacino lacuale in esame (in rosso). La cartografia ufficiale consegnata, per altri lavori, dalla Regione Lazio all’Agenzia risultava essere georiferita con sistema di riferimento ED 50/UTM Zone 33 N – EPSG 23033 . Purtroppo anche in questo caso non erano i metadati, ma solo l’anno del volo (2005). Si è resa quindi necessaria una prima fase di conversione del dato dal sistema di riferimento sopra riportato al sistema di riferimento ETRS89/UTM Zone 33 N - EPSG 25833, così come previsto dall’art. 4 del D.P.C.M. 11 novembre 1012.

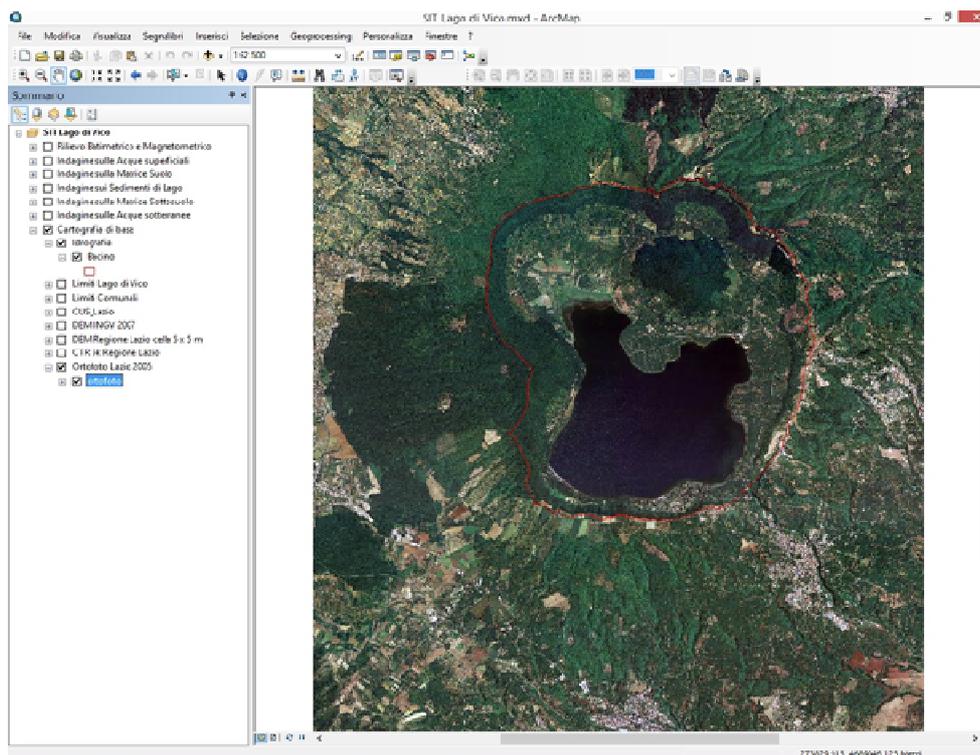
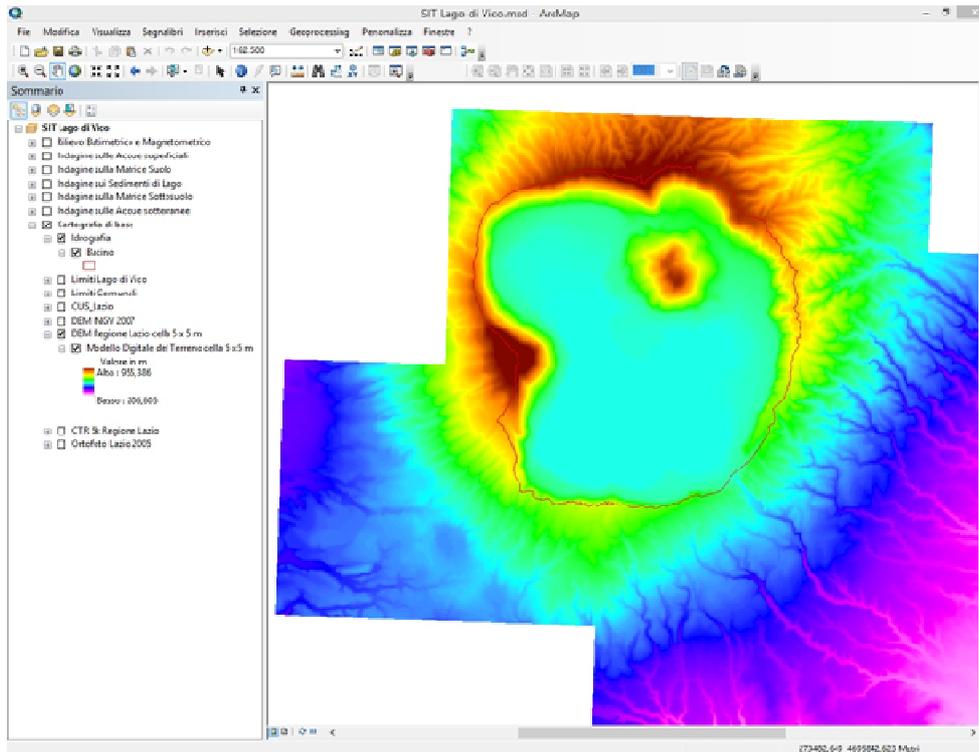


Figure 19 - Screenshot del SIT con attivazione dei livelli informativi “Ortofoto Lazio 2005” e “Bacino”

- DEM Regione Lazio cella 5 x 5 m:** Il Modello Digitale del Terreno (DEM<sup>9</sup>) è stato implementato partendo dalla banca dati Open Data della Regione Lazio, DTM 5mt formato DXF. I files in questione risultavano essere georiferiti con sistema di riferimento Monte Mario / Italy Zone 2 EPSG:3004. Purtroppo non venivano indicati né l’anno di redazione, né alcun “metadato”, ma solo la scala di risoluzione (5 metri).

Si è resa quindi necessaria una prima fase di conversione del dato dal sistema di riferimento Monte Mario / Italy Zone 2 EPSG:3004 al sistema di riferimento ETRS89/UTM Zone 33 N - EPSG 25833, così come previsto dall’art. 4 del D.P.C.M. sopra menzionato. Successivamente, come mostrato in Figure 20 è stata effettuata un’operazione di mosaicatura per avere un singolo file per tutta l’area di interesse.

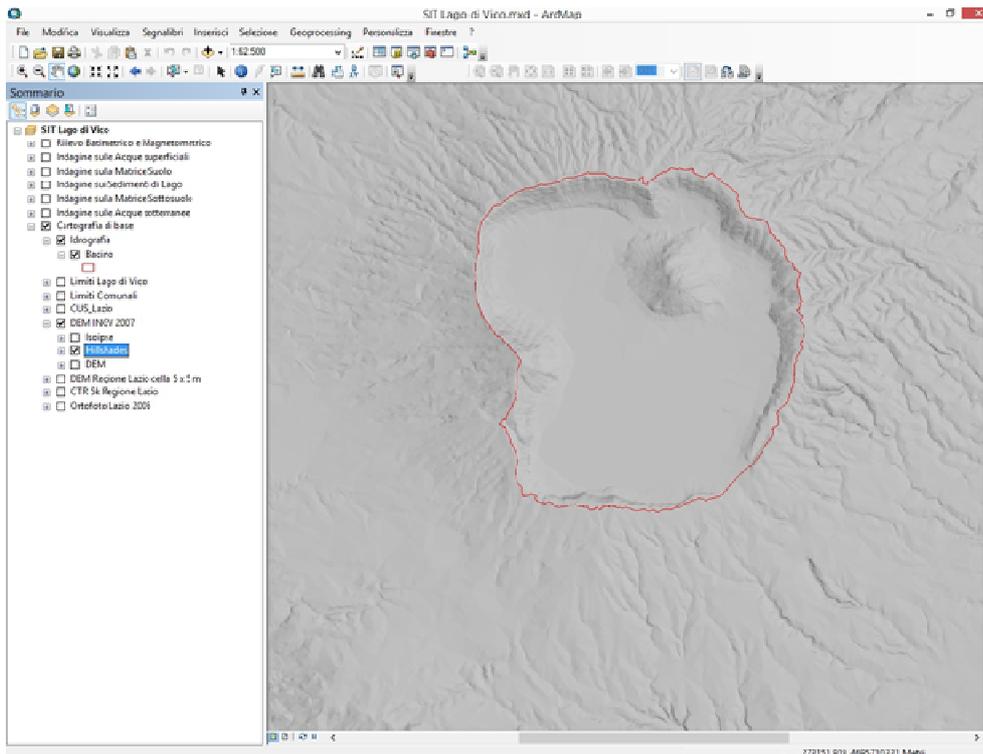
<sup>9</sup> DEM (Digital Elevation Model): rappresentazione della distribuzione delle quote di un territorio in formato digitale. Il modello digitale di elevazione viene in genere prodotto in formato raster associando a ciascun pixel l’attributo relativo alla quota assoluta.



**Figure 20 - Screenshot del SIT con attivazione dei livelli informativi “DEM Regione Lazio cella 5 x 5 m” e “Bacino”**

- DEM INGV 2007:** Il Modello Digitale del Terreno in questione è stato richiesto all'INGV<sup>10</sup>. La risoluzione è cella 10 x 10 metri. I files in questione risultavano essere georiferiti con sistema di riferimento WGS84/UTM Zona 33 N EPSG:32633. L'anno di redazione è il 2007. Si è resa quindi necessaria una prima fase di conversione del dato dal sistema di riferimento suddetto al sistema di riferimento ETRS89/UTM Zone 33 N - EPSG 25833, così come previsto dall'art. 4 del D.P.C.M. sopra menzionato. Successivamente, come mostrato in Figure 21 è stata effettuata un'operazione grafica da DEM a Hillshades per rendere visibile le pendenze e le morfologie presenti.

<sup>10</sup> INGV: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia



**Figure 21 - Screenshot del SIT con attivazione dei livelli informativi “DEM INGV 2007” e “Bacino”**

- CUS\_Lazio:** La Carta Uso del Suolo è dal sito Open Data della Regione Lazio sezione Territorio e Urbanistica. La cartografia ufficiale scaricata dal sito risulta essere georiferita con sistema di riferimento Monte Mario / Italy Zone 2 EPSG:3004. Tale cartografia tematica di base rappresenta lo stato attuale di utilizzo del territorio e si inquadra nell’ambito del Progetto CORINE Land Cover dell’Unione Europea.

Si è resa necessaria una prima fase di conversione del dato dal sistema di riferimento Monte Mario / Italy Zone 2 EPSG:3004 al sistema di riferimento ETRS89/UTM Zone 33 N - EPSG 25833, così come previsto dall’art. 4 del D.P.C.M. sopra menzionato.

La CUS in questione si fonda su 5 classi principali (Superfici artificiali, Superfici agricole utilizzate, Superfici boscate ed ambienti seminaturali, Ambiente umido, Ambiente delle acque) e si sviluppa per successivi livelli di dettaglio in funzione della scala di rappresentazione. In figura 18 è mostrato uno stralcio della Tabella degli attributi del livello informatico in questione dove è ben visibile nel campo “descrizione” la classe principale di appartenenza della singola entità vettoriale disegnata.

Tabella

CUS\_Lazio

ID	Shape	TIPO	FLAG	ARPA	COO	CLC	DESCRIZIONI	COBINE
0	Poligono	AR1	NAT			311	Boschi di latifoglie	3
1	Poligono	AR2	AGR			222	Frutteti e fruttiminori	2
2	Poligono	AR1	NAT			231	Superfici a copertura erbacea densa	2
3	Poligono	AR1	NAT			312	Boschi di conifere	3
4	Poligono	AR2	AGR			241	Culture temporanee associate a colture permanenti	2
5	Poligono	AR2	AGR			241	Culture temporanee associate a colture permanenti	2
6	Poligono	AR1	NAT			312	Boschi di conifere	3
7	Poligono	AR1	NAT			312	Boschi di conifere	3
8	Poligono	AR2	AGR			222	Frutteti e fruttiminori	2
9	Poligono	AR2	AGR			2111	Seminativi semplici in aree non irrigue	2
10	Poligono	AR2	AGR			243	Aree prevalentemente occupate da coltura agraria con presenza di spazi naturali importanti	2
11	Poligono	AR1	NAT			231	Superfici a copertura erbacea densa	2
12	Poligono	AR1	NAT			231	Superfici a copertura erbacea densa	2
13	Poligono	AR1	NAT			311	Boschi di latifoglie	3
14	Poligono	AR2	AGR			2111	Seminativi semplici in aree non irrigue	2
15	Poligono	AR2	AGR			2242	Campagneti da frutto	2
16	Poligono	AR2	AGR			2111	Seminativi semplici in aree non irrigue	2
17	Poligono	AR1	NAT			322	Cespuglieti ed arbusteti	3
18	Poligono	AR2	AGR			243	Aree prevalentemente occupate da coltura agraria con presenza di spazi naturali importanti	2
19	Poligono	AR1	NAT			231	Superfici a copertura erbacea densa	2
20	Poligono	AR2	AGR			2111	Seminativi semplici in aree non irrigue	2
21	Poligono	AR2	AGR			2111	Seminativi semplici in aree non irrigue	2
22	Poligono	AR2	AGR			2111	Seminativi semplici in aree non irrigue	2
23	Poligono	AR1	NAT			322	Cespuglieti ed arbusteti	3
24	Poligono	AR1	NAT			322	Cespuglieti ed arbusteti	3
25	Poligono	AR1	NAT			241	Culture temporanee associate a colture permanenti	2
26	Poligono	AR1	NAT			311	Boschi di latifoglie	3
27	Poligono	AR2	AGR			2111	Seminativi semplici in aree non irrigue	2
28	Poligono	AR1	NAT			322	Cespuglieti ed arbusteti	3
29	Poligono	AR2	AGR			2111	Seminativi semplici in aree non irrigue	2

(0 fuori di 71 Selezionati)

Figure 22 - Stralcio della Tabella degli attributi del livello informativo “CUS\_Lazio”

La Figure 22 mostra invece uno screenshot della CUS sovrapposta all’Ortofoto. La colorazione attribuita alle varie entità vettoriali, distinta in verde = AR1, Marrine = AR2, Arancione = AR3) è stata assegnata per poter effettuare lo studio sui valori di fondo naturale; infatti AR1 equivale a tipologia di uso del suolo naturale, AR2 ad agricolo, AR3 residenziale/produttivo.

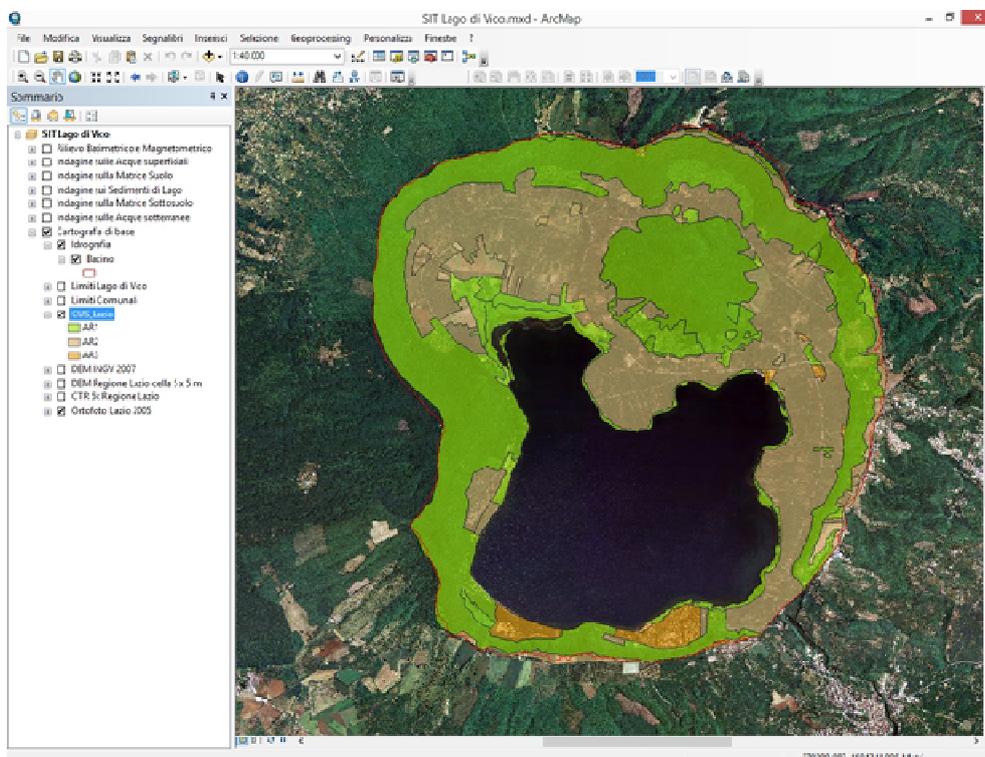


Figure 23 - Screenshot del SIT con attivazione dei livelli informativi “CUS\_Lazio”, “Ortofoto” e “Bacino”

#### 4.4 Caratterizzazione delle matrici ambientali

Parallelamente allo svolgimento delle attività previste dal PdC inerenti alle diverse matrici ambientali sono stati implementati vari livelli informativi con i dati e risultati di tali attività per poter delineare il Modello Concettuale Definitivo e nella fattispecie:

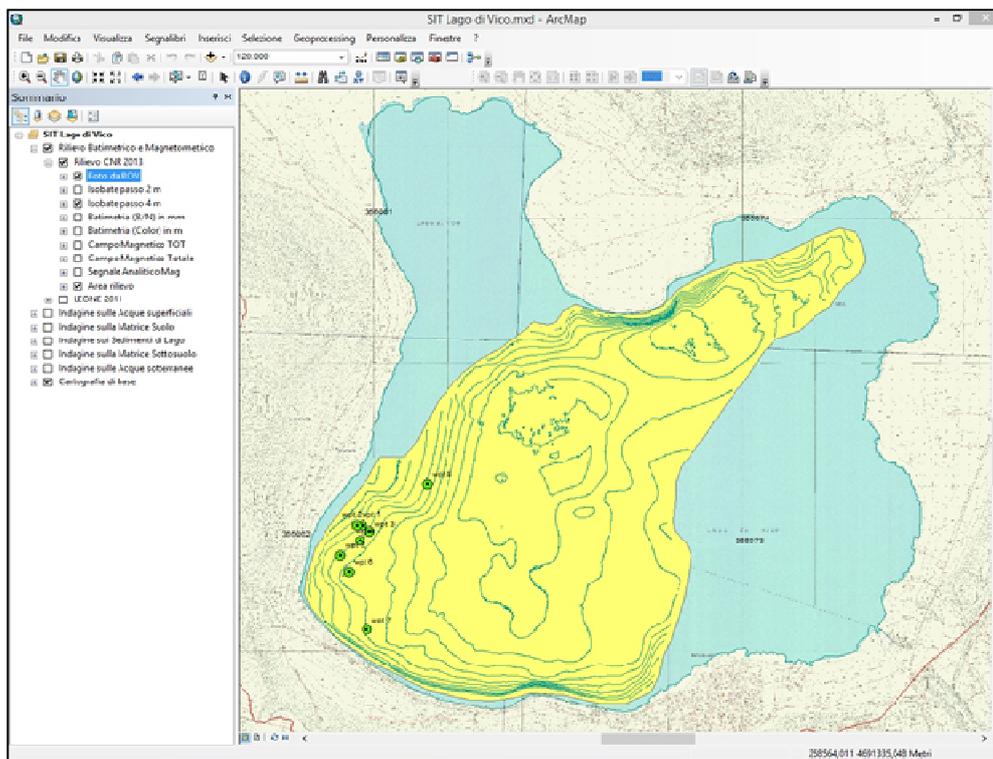
- **“Rilievo batimetrico e magnetometrico”**: il rilievo batimetrico e magnetometrico del fondale del lago di Vico è stato svolto dall'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero (IAMC) del CNR di Napoli;
- **“Indagine sulle Acque superficiali”**: è stato effettuato un monitoraggio idrochimico delle acque superficiali del lago di Vico, del fosso Scardenato e del Rio Vicano con annessa misurazione delle portate delle due aste fluviali in diverse condizioni di flusso;
- **“Indagine sulla Matrice Suolo”**: sono stati prelevati oltre 120 campioni di suolo mediante micro carotaggi a percussione per la ricerca dei contaminanti eventualmente presenti e valutazione on site della conducibilità idraulica;
- **“Indagine sui Sedimenti di Lago”**: sono stati prelevati 20 campioni di sedimento di fondo-lago mediante un campionatore a caduta libera e analisi per la determinazione dei contaminanti eventualmente presenti, nonché analisi granulometriche e (su 4 campioni) datazioni radiometriche e speciazione dell'As;
- **“Indagine sulla Matrice Sottosuolo”**: è stata effettuata una ricostruzione geologico-stratigrafica dell'area di studio tramite la realizzazione di 4 sondaggi geognostici spinti ad una profondità massima di 60 m dal p.c.;
- **“Indagine sulle Acque sotterranee”**: è stato effettuato un monitoraggio trimestrale delle acque sotterranee del bacino idrogeologico del lago di Vico per l'approfondimento conoscitivo delle dinamiche di flusso sotterraneo e per la valutazione dello stato qualitativo delle stesse.

Di seguito verranno presentate le descrizioni di sintesi dei livelli risultanti dalle suddette fasi della caratterizzazione, in relazione ai loro principali attributi.

Tutti i livelli, tranne quelli afferenti al rilievo batimetrico e magnetometrico, sono stati implementati in house dall'Agenzia e georiferiti nel sistema di riferimento ETRS89/UTM Zone 33 N - EPSG 25833.

- Rilievo batimetrico e magnetometrico: il rilievo batimetrico-magnetometrico del fondale del lago di Vico è stato finalizzato all'acquisizione di dati aggiornati con elevata risoluzione per la ricostruzione della morfologia del fondo lago e per la verifica dell'eventuale presenza di manufatti o rifiuti correlabili alle attività antropiche svolte all'interno del bacino.

I dati ricavati dalla suddetta attività hanno permesso la redazione da parte del CNR della batimetria di buona parte del lago, come mostrato in Figure 24. Le elaborazioni prodotte dal CNR sono state basilari per la scelta dei punti di campionamento dei sedimenti di fondo lago. Il livello informativo “Foto da ROV” mostra l’ubicazione di tutti i waypoints in cui sono state effettuate le riprese subacquee tramite ROV (Figure 25).



**Figure 24 - Screenshot del SIT con attivazione dei livelli informativi Rilievo CNR 2013 “Isobata passo 4 m”, “Area rilievo” e “Foto da ROV”**

Come riportato a pag. 30 del rapporto del CNR (Appendice 6), le alghe visibili negli scatti ottenuti dai filmati possono essere riferite al genere Chara, tipologia molto diffusa nei laghi dell'Italia centrale e che forma piccoli areali in rilievo che sono rilevabili come ostacoli decimetrici in un rilievo morfo-batimetrico. L'approfondimento di analisi dei dati corrispondenti ai suddetti target, in ogni caso, non ha evidenziato alcuna risposta di tipo magnetica.

Nella Figure 26 è mostrato invece la restituzione cartografica del segnale analitico magnetico (livello informativo “Segnale Analitico Mag”). Invece la Figure 27 mostra l’interpolazione dei dati magnetici con la rappresentazione bidimensionale del campo magnetico totale con curve isomagnetiche.

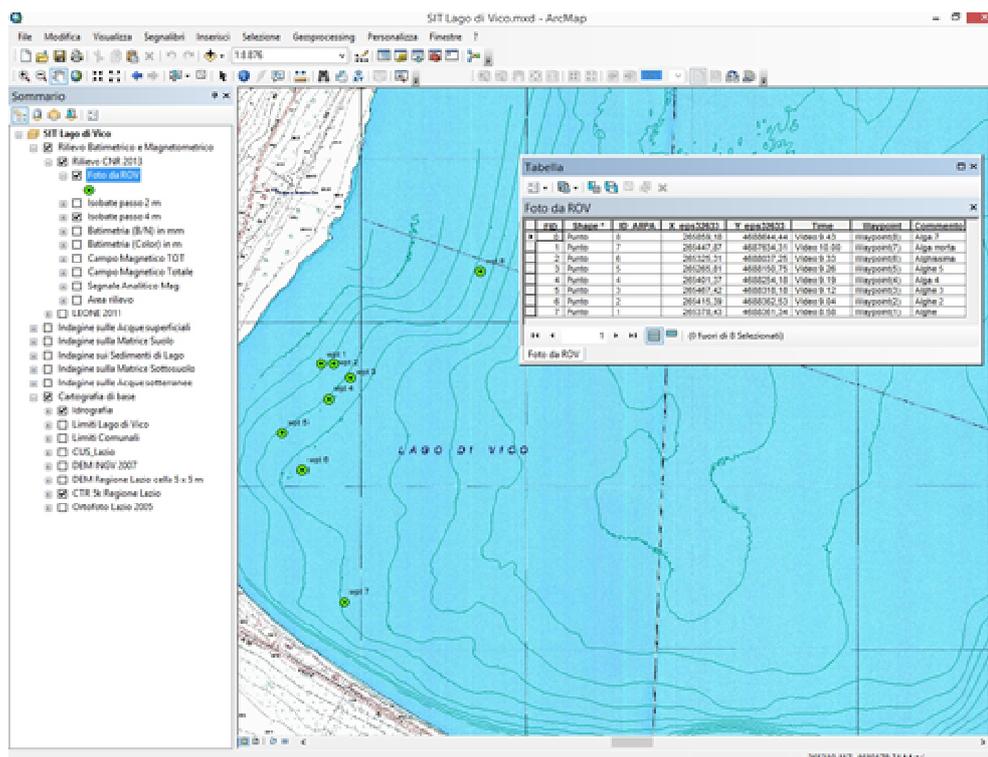


Figure 25 - Screenshot del SIT con attivazione del livello informativo Rilievo CNR 2013 “Foto da ROV” con relativa tabella attributi

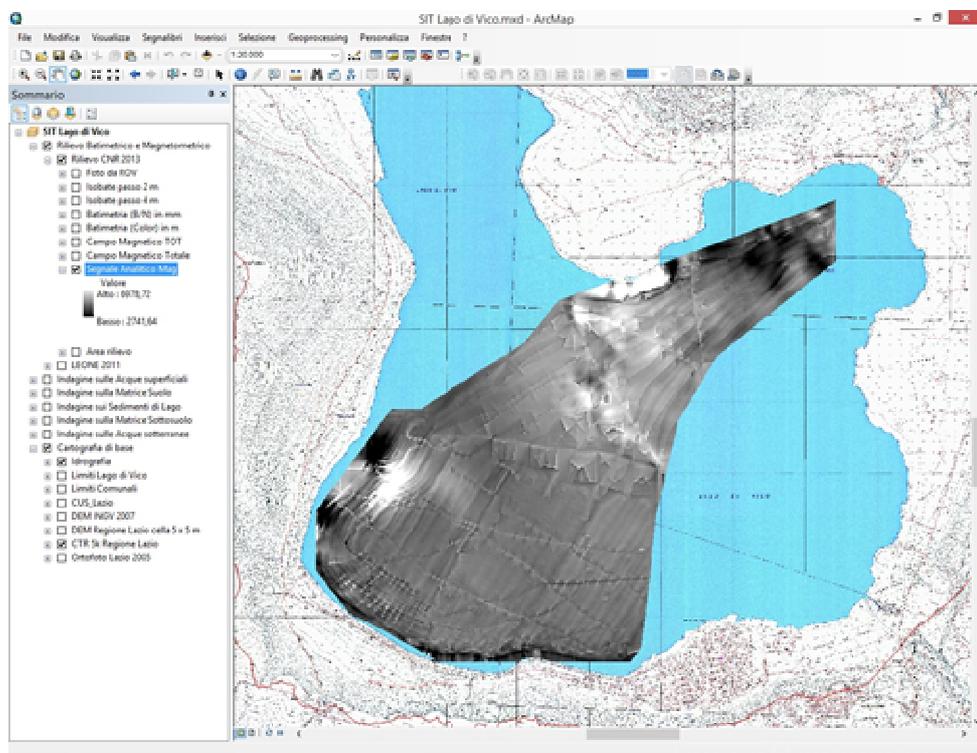


Figure 26 - Screenshot del SIT con attivazione del livello informativo Rilievo CNR 2013 “Segnale Analitico Mag”

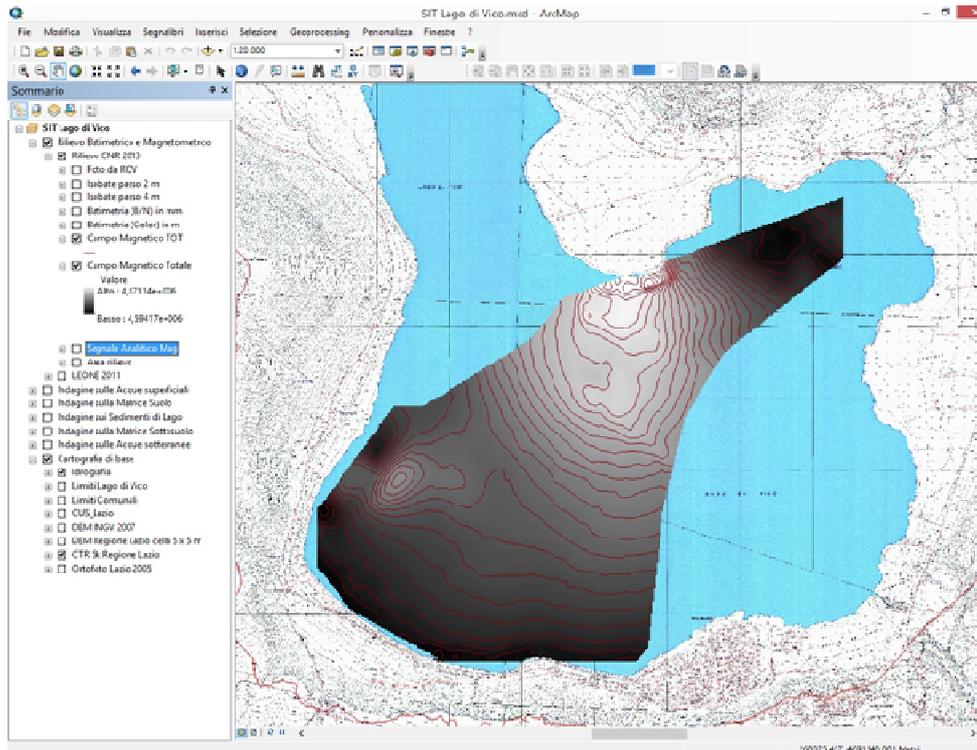


Figure 27 - Screenshot del SIT con attivazione del livello informativo Rilievo CNR 2013 “Campo magnetico totale”

- Indagini sulle Acque superficiali: gli strati informativi implementati in house dall’Agenzia constano di due livelli vettoriali di punti distinti in base alla tipologia di campionamento effettuato ovvero campionamento superficiale una tantum e campionamenti multipli su verticale.

La Figure 28 mostra il livello “Postazioni Una tantum” con l’ubicazione dei campionamenti superficiali effettuati sulle acque superficiali, con la relativa tabella attributi.

La Figure 29 mostra invece il livello “Postazioni verticali” con l’ubicazione dei campionamenti effettuati, con la relativa tabella attributi

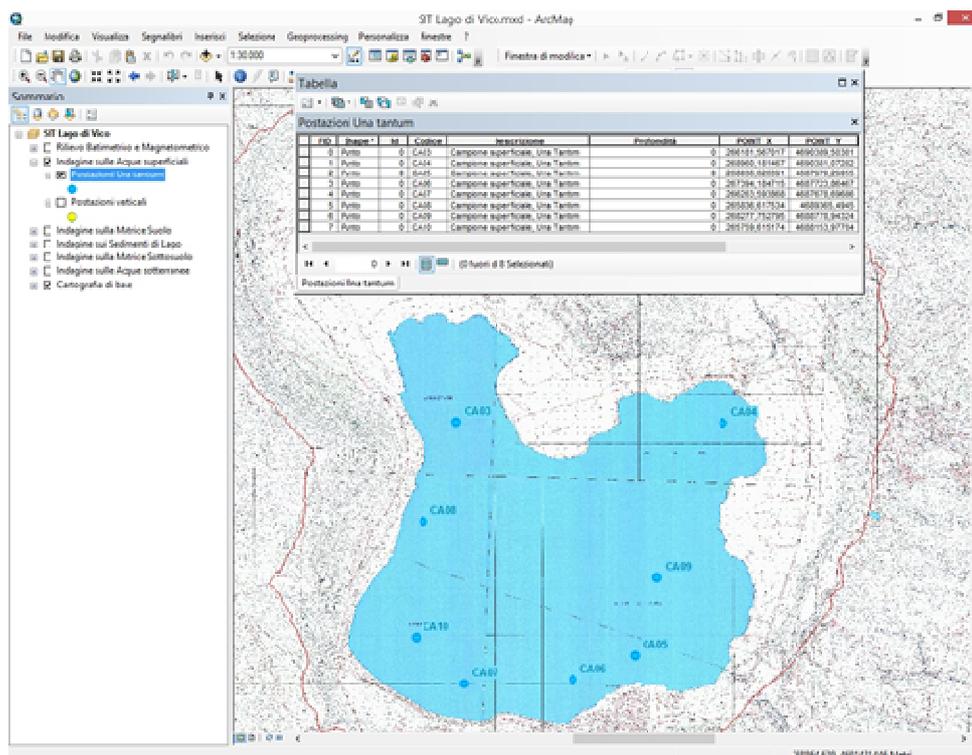


Figure 28 - Screenshot del SIT con attivazione del livello informativo Indagine sulle Acque superficiali “Postazioni Una tantum”

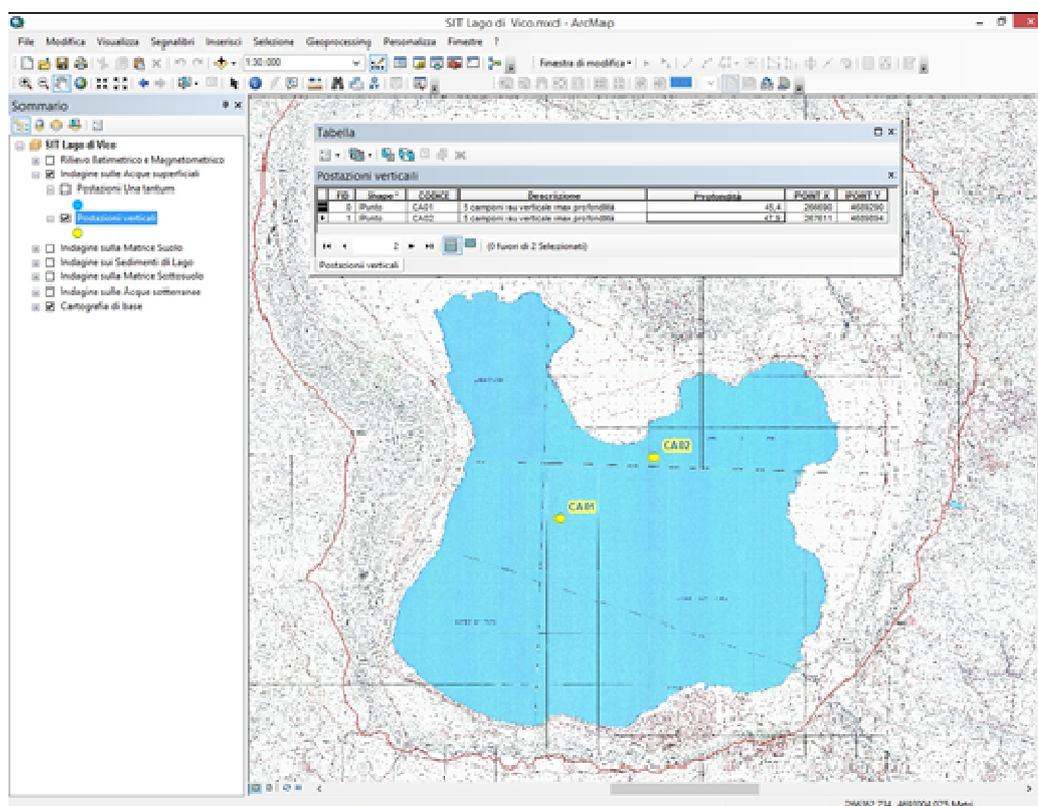


Figure 29 - Screenshot del SIT con attivazione del livello informativo Indagine sulle Acque superficiali “Postazioni verticali”

- Indagine sulle Matrici Suolo: gli strati informativi implementati in house dall’Agenzia constano di due livelli vettoriali di punti distinti in base alla tipologia di attività svolta ovvero Microcarotaggi e Test di infiltrazione. Nel livello inerente ai Microcarotaggi “Microcarotaggi Ubicazioni Reali”, mostrato in Figure 30 vengono riportate le ubicazioni dei microcarotaggi, con etichetta (nome) e colorazione differente (verde, viola e arancione) in base alla tipologia di uso del suolo presente (vedasi CUS).

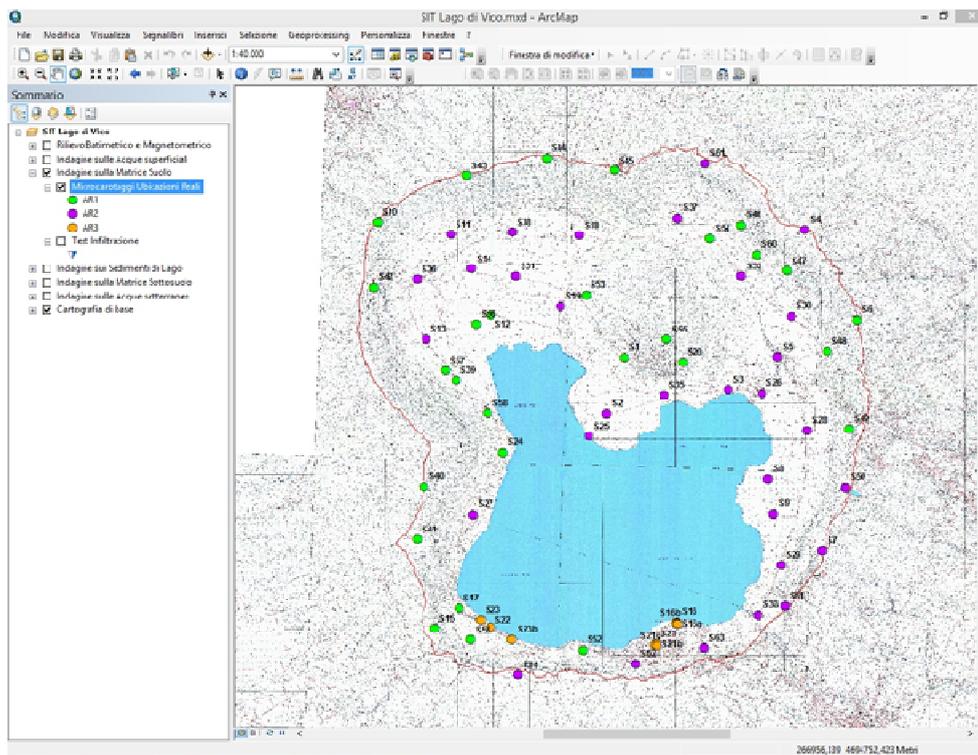


Figure 30 - Screenshot del SIT con attivazione del livello informativo Indagine sulle Matrici Suolo “Microcarotaggi Ubicazioni Reali”

In Tabella 15 invece sono riportate le descrizioni dei campi attribuiti del livello informativo sopra menzionato.

Tabella 15 - Elenco e descrizione dei campi (fields) dello shapefile “Microcarotaggi Ubicazioni Reali”

Nome	Tipo	Descrizione
ID_ARPA	String	Identificativo alfanumerico della postazione di campionamento
DATA_CAMP	Date	Data del campionamento nel formato gg/mm/aaaa
TIPO_PDC	String	Tipologia di uso del suolo previsto da PdC
TIPO_CAMP	String	Tipologia di uso del suolo reale in base all’ubicazione definitiva del campionamento
X_PDC	Integer	Coordinata X da Piano della Caratterizzazione nel S.R. ED50 UTM33 (EPSG::23033)
Y_PDC	Integer	Coordinata Y da Piano della Caratterizzazione nel S.R. ED50 UTM33 (EPSG::23033)
X_CAMP	Integer	Coordinata X reale dela postazione campionata nel S.R. ED50 UTM33 (EPSG::23033)
Y_CAMP	Integer	Coordinata Y reale dela postazione campionata nel S.R. ED50 UTM33 (EPSG::23033)

Nome	Tipo	Descrizione
ID_ARPA	String	Identificativo alfanumerico della postazione di campionamento
DATA_CAMP	Date	Data del campionamento nel formato gg/mm/aaaa
DELTA	Integer	Differenza in metri tra l'ubicazione della postazione prevista dal PdC e quella reale
NRG_Top	Integer	Identificativo interno dell'aliquota di campione attribuita al TOP SOIL
SCHEL_Top	Integer	Identificativo interno dell'aliquota di campione di attribuita allo scheletro del TOP SOIL
AS_TOP	Real	Risultato in mg/kg ss dell'analisi del parametro As sull'aliquota TOP SOIL
AS_topCORR	Real	Risultato in mg/kg ss dell'analisi del parametro As sull'aliquota TOP SOIL corretto in base ai valori di fondo
NRG_SSup	Integer	Identificativo interno dell'aliquota di campione attribuita al SUOLO SUPERFICIALE
SCHEL_SSup	Integer	Identificativo interno dell'aliquota di campione attribuita allo scheletro del SUOLO SUPERFICIALE
AS_ssup	Real	Risultato in mg/kg ss dell'analisi del parametro As sull'aliquota SUOLO SUPERFICIALE
AS_ssupCORR	Real	Risultato in mg/kg ss dell'analisi del parametro As sull'aliquota SUOLO SUPERFICIALE corretto in base ai valori di fondo
OPER_1	String	Nominativo del componente 1 del gruppo ARPA che ha effettuato il campionamento
OPER_2	String	Nominativo del componente 2 del gruppo ARPA che ha effettuato il campionamento
OPER_3	String	Nominativo del componente 3 del gruppo ARPA che ha effettuato il campionamento
NOTE	String	Note sul campionamento
DATA_SEND	Date	Data di invio del campione al laboratorio nel formato gg/mm/aaaa
PB_top	Real	Risultato in mg/kg ss dell'analisi del parametro Pb sull'aliquota TOP SOIL
PB_topCORR	Real	Risultato in mg/kg ss dell'analisi del parametro Pb sull'aliquota TOP SOIL corretto in base ai valori di fondo
PB_ssup	Real	Risultato in mg/kg ss dell'analisi del parametro Pb sull'aliquota SUOLO SUPERFICIALE
PB_ssupCOR	Real	Risultato in mg/kg ss dell'analisi del parametro Pb sull'aliquota SUOLO SUPERFICIALE corretto in base ai valori di fondo
ZN_TOP	Real	Risultato in mg/kg ss dell'analisi del parametro Zn sull'aliquota TOP SOIL
ZN_ss	Real	Risultato in mg/kg ss dell'analisi del parametro Zn sull'aliquota SUOLO SUPERFICIALE

Nel livello inerente ai test di infiltrazione “Test Infiltrazione”, mostrato in Figure 31 vengono riportate le ubicazioni dei punti dove è stato effettuato il test di infiltrazione, con etichetta (nome). In Figure 32 invece è riportata la tabella attributi del livello informativo in oggetto.

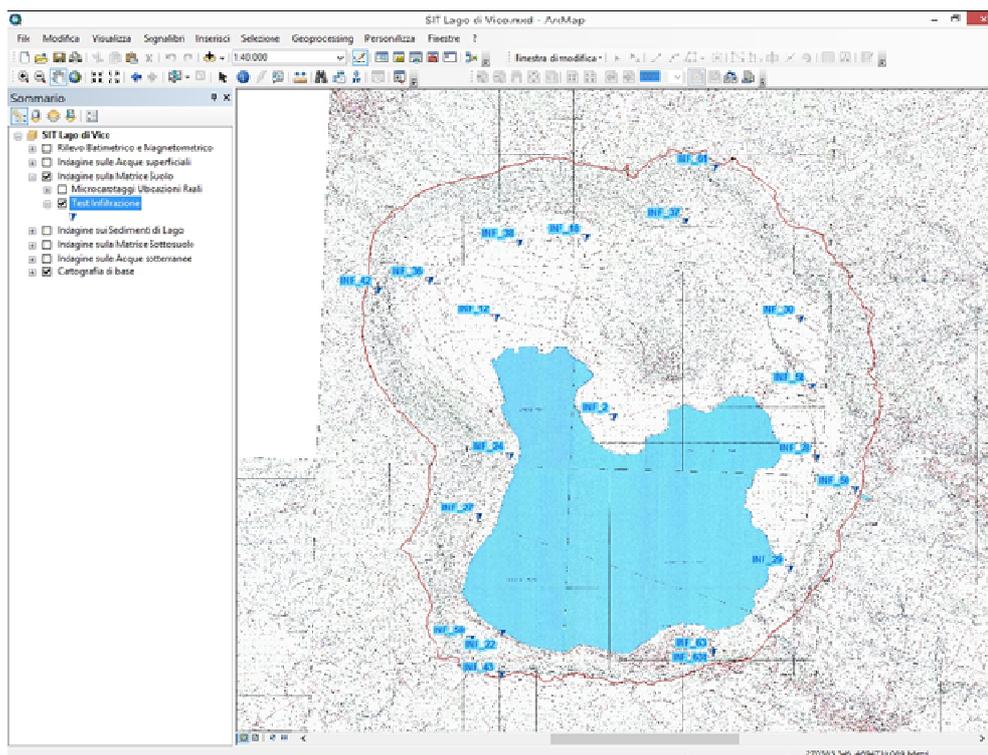


Figure 31 - Screenshot del SIT con attivazione del livello informativo Indagine sulle Matrici Suolo “Test Infiltrazione”

PK	Descr. *	ID	TIPO	DATA	FLAG	OPR	OPR	COL	NOTE	COORDINATA	COORDINATA	COORDINATA	
0	Punto INF_01 AR2	15/07/2014	1	BRNCHI	OVOPR	BAIACCHI	BAIACCHI	rimo trat di infiltrazione	EV114-14	NA	268471	502944	4687208,27718
1	Punto INF_02 AR2	14/07/2014	1	BRNCHI	OVOPR	BAIACCHI	BAIACCHI	rimo trat di prova. Dati non registrati	EV114-14	OK	268465	502955	4687207,54902
2	Punto INF_03 AR1	15/07/2014	1	BRNCHI	OVOPR			terreno incolto compressione castagn	EV114-14	OK	270412	173732	4689217,90787
3	Punto INF_04 AR2	13/04/2015	1	DI GENNARO	BRNCHI			loccietto	EV115-06	OK	268748	517583	4689312,83745
4	Punto INF_05 AR2	13/04/2015	1	NA	DI GENNARO	COLA	COLA	loccietto	EV115-07	OK	267121	533671	4689232,63758
5	Punto INF_06 AR2	21/05/2015	1	NA	DI GENNARO	COLA	COLA	loccietto zona Forestale	EV115-11	OK	269651	211835	4691086,78369
6	Punto INF_07 AR2	11/05/2016	1	BRNCHI				loccietto zona Forestale	EV115-16	OK	268992	512331	4691349,17202
7	Punto INF_08 AR1	15/05/2015	1	DI GENNARO	NA	COLA	COLA	est presso abbeveratoio Agp	EV115-9	OK	266519	594290	4691023,33785
8	Punto INF_09 AR2	15/01/2015	1	DI GENNARO	BRNCHI			est presso Nicola	EV115-2	OK	265291	702649	4689345,16763
9	Punto INF_10 AR1	18/01/2015	1	DI GENNARO	BRNCHI			fiume presso Casaretto	EV115-3	OK	265584	623216	4689236,68799
10	Punto INF_11 AR2	20/05/2015	1	NA	DI GENNARO	COLA	COLA	fiume AHO presso rigrazio campegio. Subarea grossolana	EV115-12	OK	269919	299211	4690956,74969
11	Punto INF_12 AR1	25/05/2015	1	DI GENNARO	NA	COLA	COLA	Subarea grossolana. Difficoltà di saturazione a 50 cm	EV115-12	OK	264619	318487	4691422,24055
12	Punto INF_13 AR2	20/05/2015	1	DI GENNARO	BRNCHI			Castagneto	EV115-14	OK	269285	622411	4692807,60790
13	Punto INF_14 AR1	10/05/2016	1	BRNCHI	DI GENNARO			Pressa ex Centro Studi	EV115-15	OK	265702	130662	4689993,122863
14	Punto INF_15 AR1	10/05/2016	1	BRNCHI	DI GENNARO			Pressa su sabbia	EV115-16	OK	263011	202811	4689288,48112
15	Punto INF_16 AR2	17/05/2016	1	BRNCHI	DI GENNARO			loccietto zona Proccio	EV115-16	OK	269515	191223	4690419,699603
16	Punto INF_17 AR2	03/11/2016	1	DI GENNARO	BRNCHI			Stazione Base Piro	EV115-19	OK	263216	671121	4687046,481444
17	Punto INF_18 AR2	03/11/2016	1	BRNCHI	DI GENNARO			loccietto zona Proccio	EV115-19	OK	269588	622167	4690972,671673
18	Punto INF_19 AR2	21/11/2016	1	BRNCHI	DI GENNARO			loccietto zona Proccio	EV115-19	OK	269588	622167	4690972,671673
19	Punto INF_20 AR1	21/11/2016	1	BRNCHI	DI GENNARO			loccietto zona Proccio	EV115-19	OK	269588	622167	4690972,671673

Figure 32 - Screenshot della tabella attributi del livello informativo “Test Infiltrazione”

- Indagine sui Sedimenti di Lago:** il livello informativo vettoriale di punti “Sedimenti Lago” in Figure 33 mostra l’ubicazione delle postazioni di campionamento dei sedimenti lacustri, effettuati mediante campionario a caduta. In Tabella 16 sono invece riportate le descrizioni dei campi attributi del livello informativo sopra menzionato.

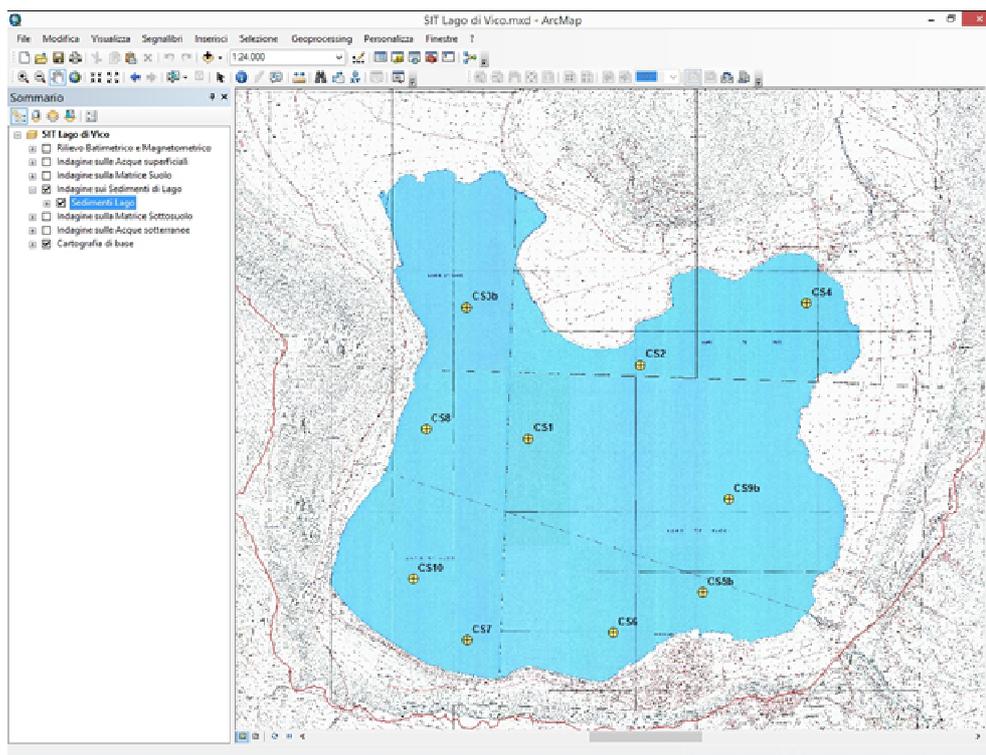


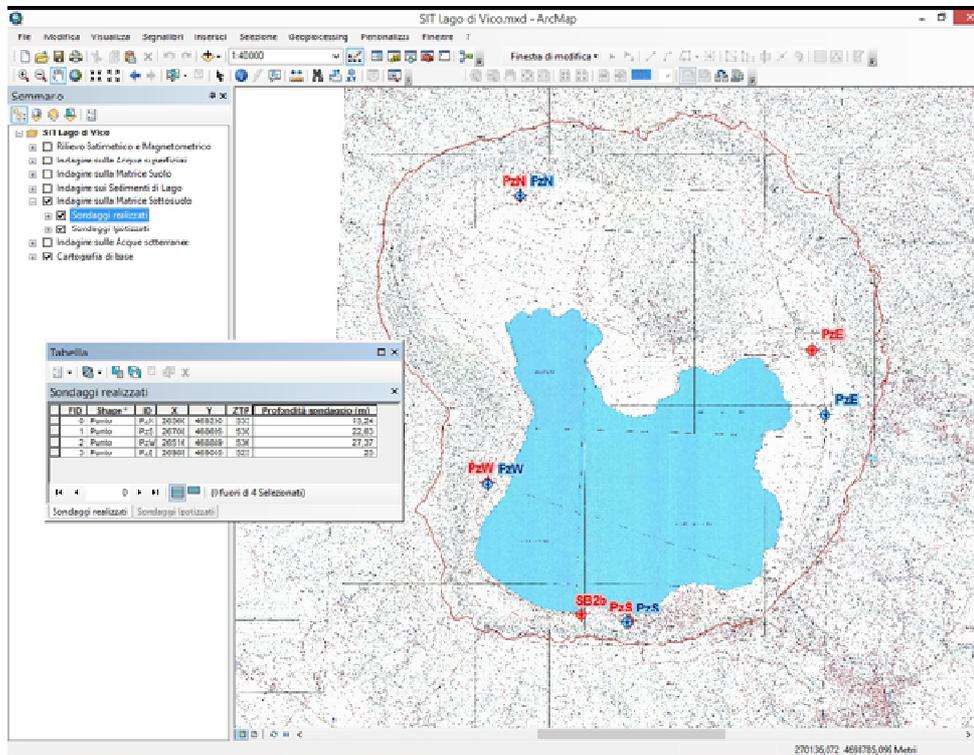
Figure 33 - Screenshot del SIT con attivazione del livello informativo Indagine sui Sedimenti di Lago “Sedimenti Lago”

Tabella 16 - Elenco e descrizione dei campi (fields) dello shapefile “Sedimenti Lago”

Nome	Tipo	Descrizione
NOME	String	Identificativo alfanumerico della postazione di campionamento
X_23033	Integer	Coordinata X da Piano della Caratterizzazione nel S.R. ED50 UTM33 (EPSG::23033)
Y_23033	Integer	Coordinata Y da Piano della Caratterizzazione nel S.R. ED50 UTM33 (EPSG::23033)
PROF	Integer	Profondità di campionamento in metri da p.c. o l.m.l. (livello medio lago)
DATA	Date	Data del campionamento nel formato gg/mm/aaaa
OP1	String	Nominativo del componente 1 del gruppo ARPA che ha effettuato il campionamento
OP2	String	Nominativo del componente 2 del gruppo ARPA che ha effettuato il campionamento
PERC_RECUP	Integer	Percentuale di materiale recuperato dalla fustella
NOTE	String	Note degli operatori
QUALITY	String	Esito controllo di qualità interno
XCOORD	Integer	Coordinata X reale nel S.R. WGS84 UTM33 (EPSG::32633)
YCOORD	Integer	Coordinata Y reale nel S.R. WGS84 UTM33 (EPSG::32633)

- Indagine sulla Matrice Sottosuolo: gli strati informativi implementati in house dall’Agenzia constano di due livelli vettoriali di punti , uno contenente le coordinate (ubicazione) dei

punti di campionamento teoriche (Sondaggi ipotizzati) ovvero quelle previste dal PdC e l'altro con le coordinate reali (Sondaggi realizzati). La Figure 34 mostra i due livelli sovrapposti su cartografia CTR, con la tabella attributi del livello "Sondaggi realizzati".



**Figure 34 - Screenshot del SIT con attivazione dei livelli informativi Indagine sulla Matrice Sottosuolo "Sondaggi realizzati" e "Sondaggi ipotizzati"**

- Indagine sulle Acque Sotterranee:** gli strati informativi in questo caso constano di tre livelli vettoriali di punti, uno contenente le ubicazioni dei punti di campionamento delle acque sotterranee come da PdC (Campionamenti PdC), uno contenente i punti su cui sono stati condotti i test di pompaggio e il terzo contenente le postazioni di misura dell'UniTuscia. La Figure 35 mostra il livello "Campionamenti PdC" con le ubicazioni dei punti con etichetta (nome) dove è stato effettuato il campionamento.

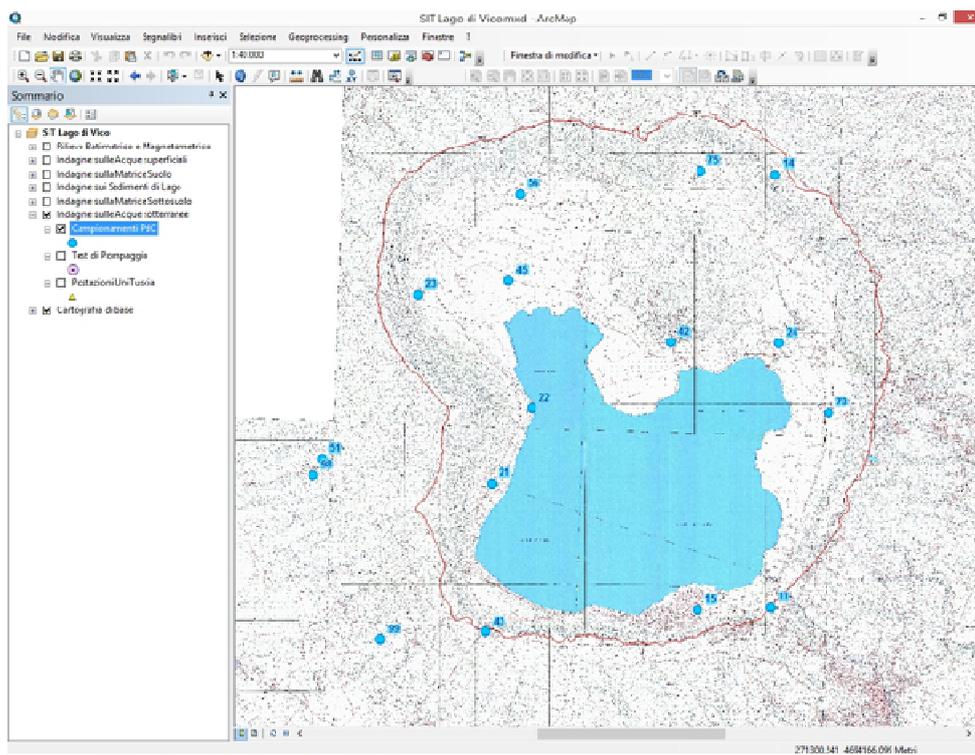


Figure 35 - Screenshot del SIT con attivazione del livello informativo Indagine sulle Acque Sotterranee “Campionamenti PdC”

La figura 22 mostra il livello “Test di pompaggio” con le ubicazioni dei punti con etichetta (nome) dove è stato effettuato il test. In figura 23 invece è riportata la tabella attributi del livello informativo in oggetto.

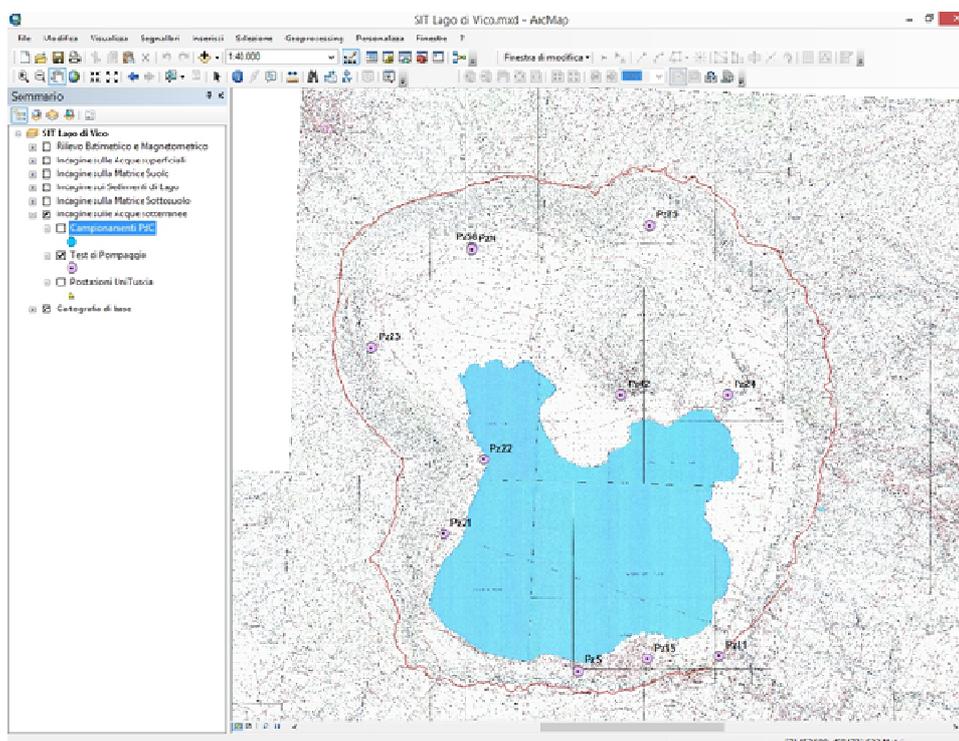


Figure 36 - Screenshot del SIT con attivazione del livello informativo Indagine sulle Acque Sotterranee “Test di pompaggio”

## 5 VALUTAZIONI CONCLUSIVE

L'esecuzione del Piano di Indagine del PdC ha permesso il raggiungimento degli obiettivi prefissati in fase di redazione del Piano ossia la definizione del modello concettuale definitivo dell'area oggetto di studio, necessario per la verifica del grado di compromissione delle matrici ambientali investigate e l'individuazione di azioni di ripristino per le eventuali passività ambientali rilevate.

Lo studio, effettuato con il coinvolgimento di altri Enti di ricerca e di diverse Università, ha consentito di ottenere i seguenti risultati:

- Definire il valore di fondo naturale del suolo dell'area investigata per quanto riguarda l'analita Arsenico. Al riguardo infatti in accordo con le linee guida APAT-ISS (2006), il valore di concentrazione rappresentativa del fondo naturale per l'Arsenico è stato definito pari al 95° percentile delle concentrazioni misurate nelle aree naturali (AR1). Avendo a riferimento i dati misurati nella fase di caratterizzazione delle matrici ambientali dell'area, il valore di Fondo è stato determinato in 110,3 mg/kg s.s. (vedi studio università Tor Vergata) Tale dato, così come previsto dal D.Lgs.152/06 e s.m.i. e come riportato nel piano approvato è stato utilizzato come riferimento per la valutazione della qualità dei suoli nelle aree agricole (AR2) e nelle aree residenziali e produttive (AR3). Dal confronto non sono emerse condizioni di contaminazione diffusa visto che tutti i valori riscontrati in fase di indagine nelle aree agricole (A2) sono risultati inferiori a tale dato di riferimento. Sono invece stati registrati 3 modesti superamenti nelle aree residenziali e produttive (AR3) in corrispondenza di sue sondaggi: S21 (sia nel TS che nel SS) e S16 per il solo TS per la cui ubicazione si rimanda alle cartografie allegate. In merito a tali superamenti occorre evidenziare come nella effettiva valutazione delle concentrazioni di arsenico (S21 -pari a 115,1 mg/kg nel TS e a 142,1 mg/kg nel SS e in S16 - pari a 121,8 mg/kg nel TS) non si possa non tener conto del fatto che l'intera area è di origine vulcanica ed quindi caratterizzata da valori significativi del metalloide anche in zone mai interessate da attività umane (valori fino a 309,3 mg/kg).
- Data la importanza in termini tossicologici in relazione alle diverse forme di Arsenico nel corso dello studio si è data corso ad una attività di speciazione dello stesso nei complessi acquosi e fasi minerali. Lo studio eseguito dall'Università di Roma "La Sapienza" su campioni di acqua sotterranea e superficiale, ha evidenziato come gli indici di saturazione mostrano condizioni di forte sotto-saturazione delle acque rispetto ai minerali di As più comuni, quali Arsenolite,  $As_2O_5$  e  $As_{native}$ . Gli indici di saturazione (SI) fortemente negativi di tali minerali sono dovuti probabilmente alla mancanza delle condizioni di pH ed

Eh adatte alla loro formazione. L'elevata mobilità dell'As per valori di pH prossimi alla neutralità fino a leggermente basici tipici delle acque sotterranee e superficiali analizzate (Smedley & Kinniburgh, 2002) facilita inoltre la tendenza di tale elemento a rimanere in soluzione. Nelle acque indagate l'arsenico è presente sempre sottoforma di complessi acquosi in particolare sono stati osservati in ordine di abbondanza:  $\text{HAsO}_4^{-2}$ ,  $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$ ,  $\text{AsO}_4^{3-}$ ,  $\text{H}_3\text{AsO}_4(\text{aq})$ . Le specie predominanti riscontrate sono quelle dell'As+5, riconosciuto come meno tossico della forma ridotta (As+3).

- Il rilievo batimetrico e magnetometrico del fondale del Lago, eseguito per una dettagliata ricostruzione della morfologia del fondo lago e per escludere la presenza di anomalie magnetiche riconducibili a corpi sommersi correlabili ad attività non documentate relativamente all'Ex magazzino materiali difesa NBC, non ha evidenziato alcuna risposta di tipo magnetometrico.
- Dalla datazione al radiocarbonio ( $^{14}\text{C}$ ), dei quattro campioni di sedimento prelevati dalle due postazioni più profonde del lago di Vico, si sono ottenuti i seguenti risultati CS01 Top: Age (B.P.): 2850 anni +/- 80; CS01 Bottom: Age (B.P.): 8250 anni +/- 75; CS02 Top: Age (B.P.): 3020 anni +/- 50; CS02 Bottom: Age (B.P.): 7020 anni +/- 85. Tali dati dimostrano che le concentrazioni più elevate di arsenico individuate nelle porzioni più profonde delle carote di sedimento prelevate sono riferibili ad epoche in cui è certa l'assenza di ogni contributo di origine non naturale. Pertanto tutti i valori riscontrati possono essere correlati alla natura vulcanica dell'invaso.
- Risulta confermato che le acque del lago sono alimentate dalle acque sotterranee nel settore settentrionale, mentre è il lago ad alimentare le acque sotterranee negli altri settori. In particolare, gli apporti idrici sotterranei verso il lago risultano pari a circa  $0.11 \text{ m}^3/\text{s}$ , mentre i flussi dal lago verso le acque sotterranee risultano pari a circa  $0.38 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- È stato possibile effettuare la simulazione del trasporto con l'ausilio del codice MT3DMS (Zheng e Wang 1999) v. 5.3 integrato in Groundwater Vistas (Rumbaugh e Rumbaugh 2017). Il codice MT3DMS comprende meccanismi di trasporto advettivo, dispersivo e diffusivo, presupponendo equilibrio chimico senza variazioni di densità del fluido. Riguardo all'avvezione, le equazioni sono risolte alle differenze finite. Le simulazioni del trasporto hanno previsto tre casi distinti, ovvero sono state formulate tre ipotesi di contaminazione delle acque sotterranee. Un primo caso ipotizza una sorgente diffusa di contaminazione nel settore settentrionale della caldera, dove l'uso del suolo è prevalentemente agricolo (Caso 1). Un secondo caso ipotizza una sorgente puntuale di contaminazione delle acque

sotterranee nel settore meridionale della caldera, dove è ubicato l'ex-magazzino NBC (Caso 2). Un terzo caso ipotizza contaminazione geogenica da risalite di fluidi idrotermali localizzate nell'intorno del sito dove è ubicato il pozzo con acque a 50 °C (Caso 3). Le simulazioni del trasporto hanno indicato che solo laddove la sorgente di contaminazione antropica sia ubicata nel settore settentrionale della caldera, sono possibili impatti sulla qualità delle acque del lago. Invece, è possibile una contaminazione geogenica di Arsenico delle acque del lago da risalite di fluidi profondi attraverso le zone di fratturazione che caratterizzano l'area vulcanica. Eventuali sorgenti di contaminazione di origine antropica ubicate nei settori orientale, meridionale e occidentale della zona intracalderica avrebbero impatto solo sulla qualità delle acque sotterranee, senza interferire con quelle superficiali del lago. Al riguardo è opportuno precisare che, sebbene alla scala indagata l'affidabilità del modello risulti essere accettabile, potrebbero chiaramente essere state ignorate eterogeneità locali con conseguenti deviazioni delle direzioni di flusso e del plume di contaminazione reale rispetto a quanto simulato.