

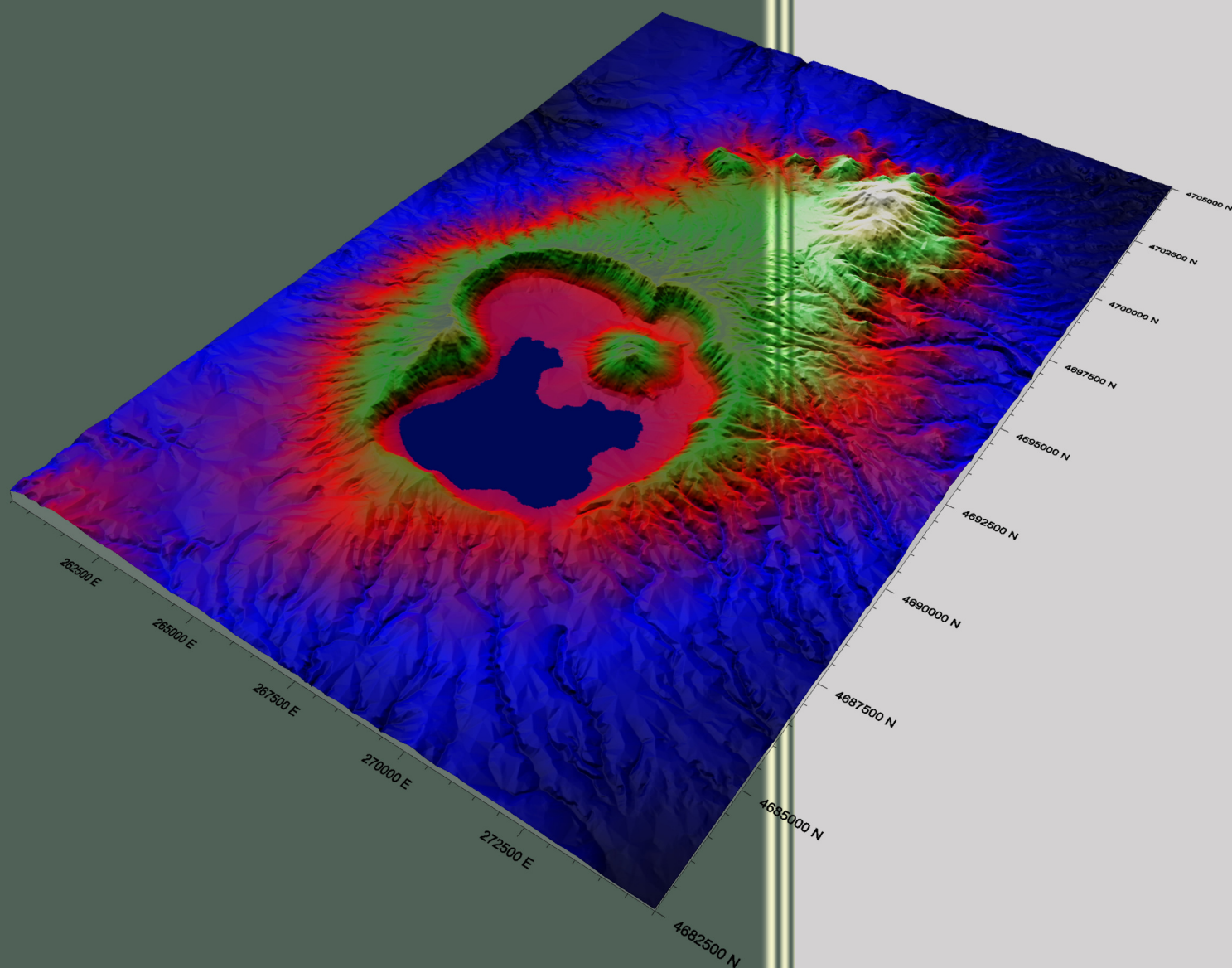
ARPALAZIO



Regione Lazio

Piano della Caratterizzazione del Lago di Vico (ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i)

APPROVATO DALLA REGIONE LAZIO IL 3 MAGGIO 2012



Rev 01

Marzo 2012

Responsabile Scientifico

Ing. Rossana Cintoli

Gruppo di Lavoro

Dott. Giampaolo Brinchi

Dott. Geol. Mauro Castaldo

Ing. Antonio di Gennaro

Ing. Simone Dionisi

Dott. Geol. Stefano Muzzi

Dott. Geol. Giorgio Onofri

SOMMARIO

1	PREMESSA	4
1.1	OBIETTIVI DEL LAVORO	4
1.2	SINTESI DELL'ITER PROCEDURALE	5
1.3	RIFERIMENTI TECNICO-NORMATIVI	6
2	INQUADRAMENTO GENERALE	8
2.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E AMMINISTRATIVO, CENNI STORICI	8
2.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE	11
2.3	MORFOLOGIA DEL BACINO E BATIMETRIA DEL LAGO	22
2.4	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E BILANCIO	29
2.5	COPERTURA E USO DEL SUOLO	36
3	RACCOLTA E SISTEMATIZZAZIONE DEI DATI ESISTENTI	39
3.1	MONITORAGGI ARPA DI ROUTINE	41
3.1.1	Qualità delle acque superficiali destinate alla produzione idropotabile	41
3.1.2	Qualità delle acque dolci superficiali idonee alla vita dei pesci	43
3.1.3	Obiettivi di qualità ambientale per le acque superficiali	44
3.1.4	Qualità delle acque destinate alla balneazione	49
3.1.5	Obiettivi di qualità ambientale per le acque sotterranee	50
3.1.6	Zone vulnerabili da prodotti fitosanitari	52
3.2	MONITORAGGI ARPA STRAORDINARI	54
3.2.1	“Attività di contrasto al degrado della qualità delle acque”	55
3.2.2	“Attività di monitoraggio e controllo sui sedimenti del bacino lacustre”	60
3.2.3	“Caratterizzazione dei terreni circumlacuali”	62
3.2.4	“Approfondimento di indagine sull'inquinamento del Lago di Vico”	64
3.3	DATI ACQUISITI DA ATTIVITÀ DI INDAGINE O FONTI ESTERNE	66
3.3.1	Indagini dirette sui suoli dell'ex Magazzino Materiali N.B.C.	66
3.3.2	Velocità di sedimentazione e datazione dei sedimenti di fondo lago	69
3.3.3	Censimento delle captazioni idriche	71
3.3.4	Presenza di arsenico nelle acque sotterranee	71
4	MODELLO CONCETTUALE PRELIMINARE	78
4.1	POTENZIALI SORGENTI DI CONTAMINAZIONE: ORIGINE ANTROPICA	81
4.1.1	Attività agricole	82
4.1.2	Attività Residenziali/Turistico Commerciali	82
4.1.3	Attività svolte nell'area Ex Magazzino NBC di Ronciglione	83
4.2	POTENZIALI SORGENTI DI CONTAMINAZIONE: ORIGINE NATURALE	83
4.3	DEFINIZIONE DEI POTENZIALI COCS	83
4.4	POTENZIALI PERCORSI DI MIGRAZIONE E BERSAGLI	85
5	PIANO D'INDAGINE	86

5.1 RILIEVO BATIMETRICO E MAGNETOMETRICO	86
5.1.1 Metodologia applicata.....	87
5.2 INDAGINE SULLA MATRICE SUOLO	89
5.2.1 Valori di fondo	89
5.2.2 Prelievo del campione: esecuzione carotaggi superficiali	92
5.2.3 Metodologia di campionamento e ubicazione dei punti d'indagine.....	92
5.2.4 Analisi di laboratorio – Set e metodiche.....	92
5.2.5 Determinazione della conducibilità idraulica	93
5.3 INDAGINE SULLA MATRICE SOTTOSUOLO	93
5.3.1 Modalità di esecuzione dell'indagine: sondaggi geognostici e completamento a piezometro ..	94
5.4 INDAGINE SULLE ACQUE SOTTERRANEE.....	95
5.4.1 Piano di monitoraggio pozzi/sorgenti.....	95
5.4.2 Metodologia di campionamento e misure di campo	95
5.4.3 Analisi di laboratorio – Set analitico e metodiche.....	96
5.4.4 Prove idrauliche	98
5.5 INDAGINE SUI SEDIMENTI DI LAGO	98
5.5.1 Modalità di campionamento	98
5.5.2 Analisi di laboratorio – Set e metodiche	99
5.5.3 Datazione del sedimento	100
5.5.4 Valutazioni sulla geochimica dell'arsenico nel sedimento	100
5.6 INDAGINE ACQUE SUPERFICIALI	101
5.6.1 Monitoraggio acque lacustri: scelta dei punti di osservazione e modalità esecutive dei campionamenti	101
5.6.2 Analisi di laboratorio – Set e metodiche	102
5.6.3 Monitoraggio acque fluviali: scelta dei punti di osservazione e modalità esecutive dei campionamenti	104
5.6.4 Speciazione chimica acque superficiali e sotterranee.....	104
5.6.5 Bilancio idrologico del bacino.....	105
5.7 VALUTAZIONE ECOTOSSICOLOGICA	105
5.7.1 Test di tossicità	106
5.8 MODELLO GEOCHIMICO E IDROGEOLOGICO DEL BACINO LACUSTRE.....	109
5.8.1 Elaborazione modello geochimico.....	109
5.8.2 Elaborazione modello Idrogeologico.....	110
6 BIBLIOGRAFIA	111

ELENCO DELLE TAVOLE

- Tav. 1:** Monitoraggi ARPA di routine
- Tav. 2:** Caratterizzazione dei terreni circumlacuali
- Tav. 3:** Determinazione della conducibilità idraulica
- Tav. 4:** Monitoraggio delle acque sotterranee
- Tav. 5:** Caratterizzazione dei sedimenti lacustri
- Tav. 6:** Caratterizzazione delle acque lacustri

1 PREMESSA

1.1 Obiettivi del lavoro

Il presente documento costituisce il Piano di Caratterizzazione, ai sensi dell'Art. 242 del D.Lgs. 152/2006, del bacino del Lago di Vico, redatto in conformità alle indicazioni tecniche contenute nell'Allegato 2 al Titolo V della Parte quarta del medesimo decreto.

Si ritiene opportuno sottolineare che:

- la procedura amministrativa per il sito oggetto di studio, normata dall'Art. 242 e descritta dettagliatamente nel paragrafo che segue, è stata attivata a seguito del rilevamento, su un campione di sedimento del fondo lago, di tre superamenti delle CSC (Concentrazioni Soglia di Contaminazione) riportate nella colonna A della Tabella 1 dell'All. 5 al Titolo V della Parte quarta, CSC previste per il *"suolo e il sottosuolo"* di *"Siti ad uso Verde pubblico, privato e residenziale"*; i parametri non conformi sono risultati essere il Cadmio, il Nichel e l'Arsenico;
- il confronto delle concentrazioni rilevate in una matrice ambientale non normata (sedimenti lacustri) con il riferimento normativo previsto per suoli di siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale, costituisce un'assunzione particolarmente conservativa per la tutela della salute pubblica, nonché conforme ai principi ispiratori del Testo Unico ambientale.
- il *"bacino"* del Lago di Vico oggetto del presente studio, per esigenze di coerenza e completezza del modello concettuale alla base del piano di indagine (Cap. 4), è da intendersi come *"bacino idrografico"*, ai fini pratici coincidente con l'area interna alla caldera; la raccolta e la sistematizzazione dei dati (Cap. 3) necessari ad una corretta impostazione del lavoro, tuttavia, sono state estese arealmente all'intero bacino idrogeologico.
- il problema dell'eutrofizzazione del lago e delle conseguenze biologiche del suo avanzamento esula dalle possibilità e dagli obiettivi di un piano della caratterizzazione ai sensi del D.Lgs. 152/2006, né ricade nelle competenze dell'accordo di programma con la Regione Lazio. Specifiche attività di approfondimento previste dal piano di indagine saranno finalizzate alla valutazione degli equilibri geochimici del sistema lago-sedimenti e dell'acquifero circostante e le informazioni così acquisite potranno essere utili alla conoscenza dei fenomeni senza tuttavia esserne l'obiettivo.

Il Piano della Caratterizzazione corrisponde alle prime due fasi dell'iter di caratterizzazione di un sito contaminato, come schematizzato nell'All. 2 al Titolo V della Parte quarta del D.Lgs. 152/2006:

1. ricostruzione storica delle attività produttive svolte sul sito;
2. elaborazione del Modello Concettuale Preliminare del sito e predisposizione di un piano di indagini ambientali finalizzato alla definizione dello stato ambientale del suolo, del sottosuolo e delle acque sotterranee;
3. esecuzione del piano di indagini e delle eventuali indagini integrative necessarie alla luce dei primi risultati raccolti;

4. elaborazione dei risultati delle indagini eseguite e dei dati storici raccolti e rappresentazione dello stato di contaminazione del suolo, del sottosuolo e delle acque sotterranee;
5. elaborazione del Modello Concettuale Definitivo;
6. identificazione dei livelli di concentrazione residua accettabili - sui quali impostare gli eventuali interventi di messa in sicurezza e/o di bonifica, che si rendessero successivamente necessari a seguito dell'analisi di rischio- calcolati mediante analisi di rischio eseguita secondo i criteri di cui in Allegato 1 (al Titolo V della Parte quarta del D.Lgs.152/2006).

1.2 Sintesi dell'iter procedurale

Si propone di seguito, in ordine temporale, una sintetica descrizione degli eventi che hanno segnato la procedura in fieri, di cui il presente documento costituisce l'atto più recente.

- **24 novembre 2009:** ARPA Lazio acquisisce un campione di sedimento del lago di Vico, prelevato presso il punto denominato "centro lago" (ad una profondità di circa 44 m), nell'ambito delle attività in convenzione con la Provincia di Viterbo per un approfondimento sullo stato ambientale del lago (attività mirate in particolare a definire la 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 predispone 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).
- **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".
- **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;
- **1 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, 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);

- **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; vengono pianificati approfondimenti d'indagine estesi a tutto il bacino;
- **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;
- **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 il 1 aprile (risultati già illustrati nel tavolo tecnico del 10 maggio);
- **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;
- **28 giugno 2010:** ARPA trasmette alla Regione una bozza della convenzione per la caratterizzazione del bacino di Vico, con disciplinare tecnico (e cronoprogramma);
- **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.

1.3 Riferimenti tecnico-normativi

Nell'elaborare il presente Piano della Caratterizzazione si è perseguita la conformità con le indicazioni dei seguenti riferimenti normativi:

- **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 INQUADRAMENTO GENERALE

2.1 Inquadramento geografico e amministrativo, cenni storici

Il lago di Vico è situato in provincia di Viterbo, a circa 10 km di distanza in linea d'aria dal capoluogo, in direzione SE; risulta compreso nella porzione meridionale del bacino del Tevere, tra il lago di Bolsena, ubicato circa 26 km a NW, e quello di Bracciano, 17 km a S.

Il centroide dello specchio d'acqua rilevato dalle più recenti ortofoto (voli 2002/2003) corrisponde alle coordinate UTM fuso 33 approssimate 267190 E e 4689120 N (geografiche 12° 10' 29.86" E, 42° 19' 7.67" N), mentre il pelo libero attuale si attesta ad una quota di circa 510 m s.l.m., come indicato da tutte le fonti bibliografiche consultate.

Dal punto di vista amministrativo, il bacino del lago, inteso sia come bacino imbrifero che come caldera, ricade interamente nei territori dei comuni di Caprarola (VT) e Ronciglione (VT), come illustrato in Figura 1; in particolare, all'interno del territorio comunale di Caprarola ricade circa l'80% dell'estensione del bacino (33 km² su un totale di oltre 41 km²).

Per quanto riguarda l'effettivo sviluppo dello specchio d'acqua dei circa 12 km² di estensione complessiva, il 66.1% (7.9 km²) è di competenza del comune di Caprarola e il restante 33.9% (4.1 km²) del comune di Ronciglione.

Il lago di Vico, originariamente chiamato *lacus Ciminus*, assunse il nome odierno dal medievale *Castrum Vici*, primo possesso (secolo X) dei Prefetti della Tuscia, dal quale la potente famiglia romana trasse il proprio cognome; del borgo che sorgeva a poca distanza dalla riva, sulle rovine di un villaggio etrusco-romano (*Vicus Elbii*), distrutto nel 1431 da Everso dell'Anguillara, signore di Ronciglione, restano soltanto la chiesetta di Santa Lucia e le vicine rovine del Castellaccio.

L'estensione del lago è stata nel passato assai maggiore di quella attuale; il livello delle acque è stato ridotto di oltre 20 m solo in tempi relativamente recenti, attraverso lo scavo di un apposito canale artificiale sotterraneo, presumibilmente iniziato dagli Etruschi e ripreso successivamente dai Romani, prima della costruzione della strada nota come Cassia Cimina.

Nel XVI secolo l'opera idraulica fu ripristinata e modificata dai Farnese, duchi di Castro e di Ronciglione, in modo da abbassare ulteriormente il livello del lago e consentirne la regolazione delle escursioni attraverso una chiusa a sfioratori tutt'ora esistente; risale a questo periodo, in particolare, il prosciugamento delle aree denominate Pantanacce, Pantanello, Procoio e Punta del Lago.

Il canale sotterraneo, rinnovato nel 2000, risulta lungo approssimativamente 500 m e confluisce nel fosso naturale del rio Vicano, il quale a sua volta sfocia nel Treia, affluente di destra del Tevere; per quanto il bacino oggetto di studio possa essere considerato naturalmente *endoreico*, la suddetta successione canale-fosso costituisce di fatto, nel suo insieme, un vero e proprio emissario le cui caratteristiche idrauliche risultano di fondamentale importanza nella definizione del bilancio idrologico del lago.

Il notevole valore naturalistico del bacino del lago è alla base dell'istituzione della *Riserva Naturale Lago di Vico*, avvenuta con L.R. n. 47 del 28 settembre 1982, comprendente in origine il solo territorio di competenza amministrativa del comune di Caprarola, con l'esclusione della porzione di lago sotto giurisdizione del comune di Ronciglione. Con la L.R. n. 24 del 24 dicembre 2008, che ha abrogato la precedente legge istitutiva, il Consiglio Regionale

del Lazio ha approvato l'ampliamento della Riserva, includendo nell'area protetta anche il versante sud-ovest del lago, quello Ronciglione, fino a quel momento escluso.

L'estensione attuale della Riserva (4109 ettari rispetto ai precedenti 3346), coincide di fatto con il bacino idrografico oggetto del presente piano della caratterizzazione, come illustrato in Figura 1.

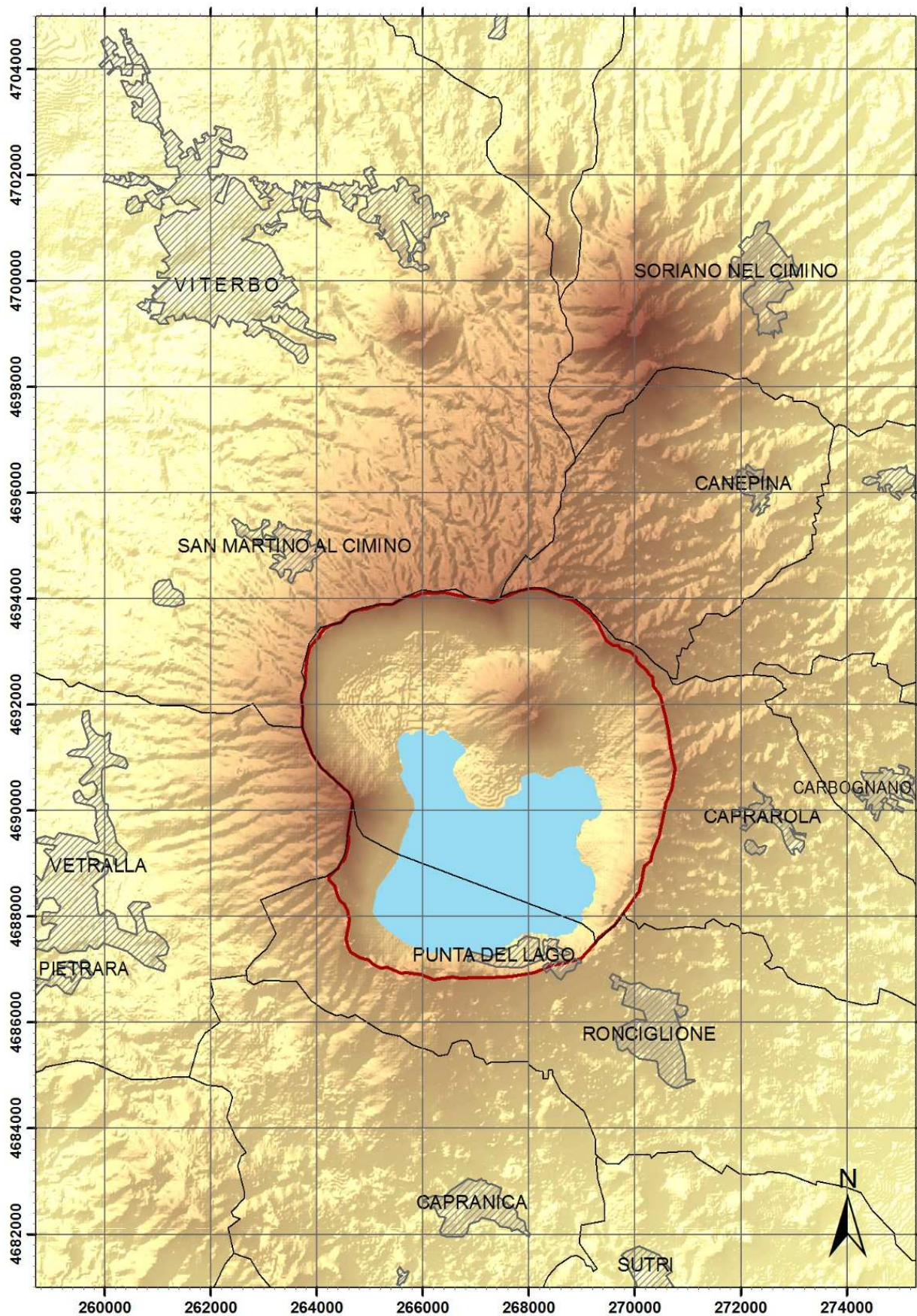


Figura 1 – Inquadramento geografico del lago di Vico, limiti comunali (linea nera), principali aree urbanizzate e limite della Riserva (linea rossa); coordinate UTM zona 33 ED50, maglia reticolo 2 km

2.2 Inquadramento geologico-strutturale

Il bacino del lago di Vico, oggetto del presente piano della caratterizzazione, coincide con la caldera poligenica dell'omonimo vulcano, venutasi a formare per ripetuti collassi del suo cono a seguito dello svuotamento parziale della camera magmatica sottostante, in concomitanza delle eruzioni ignimbritiche che ne hanno caratterizzato l'attività.

Il bacino è compreso nel più ampio contesto geologico del distretto vulcanico Cimino-Vicano, nell'ambito del quale è possibile distinguere le attività che hanno messo in posto i prodotti del complesso Cimino, più antiche, dalle successive, propriamente Vicane.

Per facilitarne la lettura, nel presente paragrafo si riportano le seguenti elaborazioni grafiche, rappresentative dell'assetto geologico-strutturale del sito:

- Figura 2 (pag. 12): stralcio scalato della *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000*, relativo all'area di interesse, ottenuto a partire dai fogli 137 *Viterbo* (2^a ed.) e 143 *Bracciano* (2^a ed.) con tabella (Tabella 1 a pag. 13) descrittiva degli affioramenti come definiti nelle relative note illustrative (Bertini et al., 1970 e 1971);
- Figura 3 (pag. 15): stralcio scalato della *Carta delle geodiversità dei distretti vulcanici cimino e vicano in scala 1:75.000* (Cimarelli et al., 2008), riportante 3 tracce di profili geologici (A-A', B-B' e C-C') relativi alla zona di interesse, con relativa tabella descrittiva dei litotipi (Tabella 3, pag. 16) definiti nelle note illustrative;
- Figura 4 (pag. 17): profili geologici qualitativi A-A' e B-B';
- Figura 5 (pag. 18): profilo geologico qualitativo C-C';
- Figura 6 (pag. 21): colonna stratigrafica riassuntiva delle principali fasi di attività del vulcano di Vico, con indicazione delle età radiometriche e stima dei volumi disclocati, modificata da Cimarelli et al., 2008.

Particolarmente chiara e rappresentativa risulta essere la *Carta delle geodiversità dei distretti vulcanici cimino e vicano in scala 1:75.000* (Cimarelli et al., 2008), di cui è riportato un stralcio in Figura 3 e la legenda in Tabella 3, frutto di un apprezzabile lavoro che ha avuto come obiettivo quello di rappresentare i litotipi principali dell'ambiente vulcanico in funzione delle caratteristiche litologiche dei depositi, a loro volta dipendenti dai diversi processi eruttivi. I litotipi, ai quali sono anche associati simboli in grado di evidenziare la morfologia, si riferiscono a depositi in genere connessi ad una o più eruzioni della stessa natura: vengono, in sostanza, distinte: colate di lava, depositi di ricaduta, ignimbriti (depositi da colata piroclastica) e depositi freatomagmatici.

Il distretto vulcanico Cimino, il più antico del Nord del Lazio, si inserisce in un settore pre-appenninico interessato da faglie con direzione prevalente NW-SE e, subordinatamente, antiappenniniche NE-SW; come ben evidenziato dai profili geologici, esso risulta impostato su un substrato di rocce sedimentarie del Pliocene-Pleistocene che comprende argille, sabbie e conglomerati marini, al quale seguono depositi flyschoidi del Cretaceo-Oligocene costituiti da argilliti, marne, calcareniti, calcari marnosi e arenarie.

Ancora più in profondità, infine, si trovano le rocce carbonatiche del Triassico-Paleogene (Successione Umbro-Marchigiana), spesse parecchie centinaia di metri, che comprendono calcari, marne, calcari marnosi, calcari dolomitici e anidriti (La Torre et al., 1981).

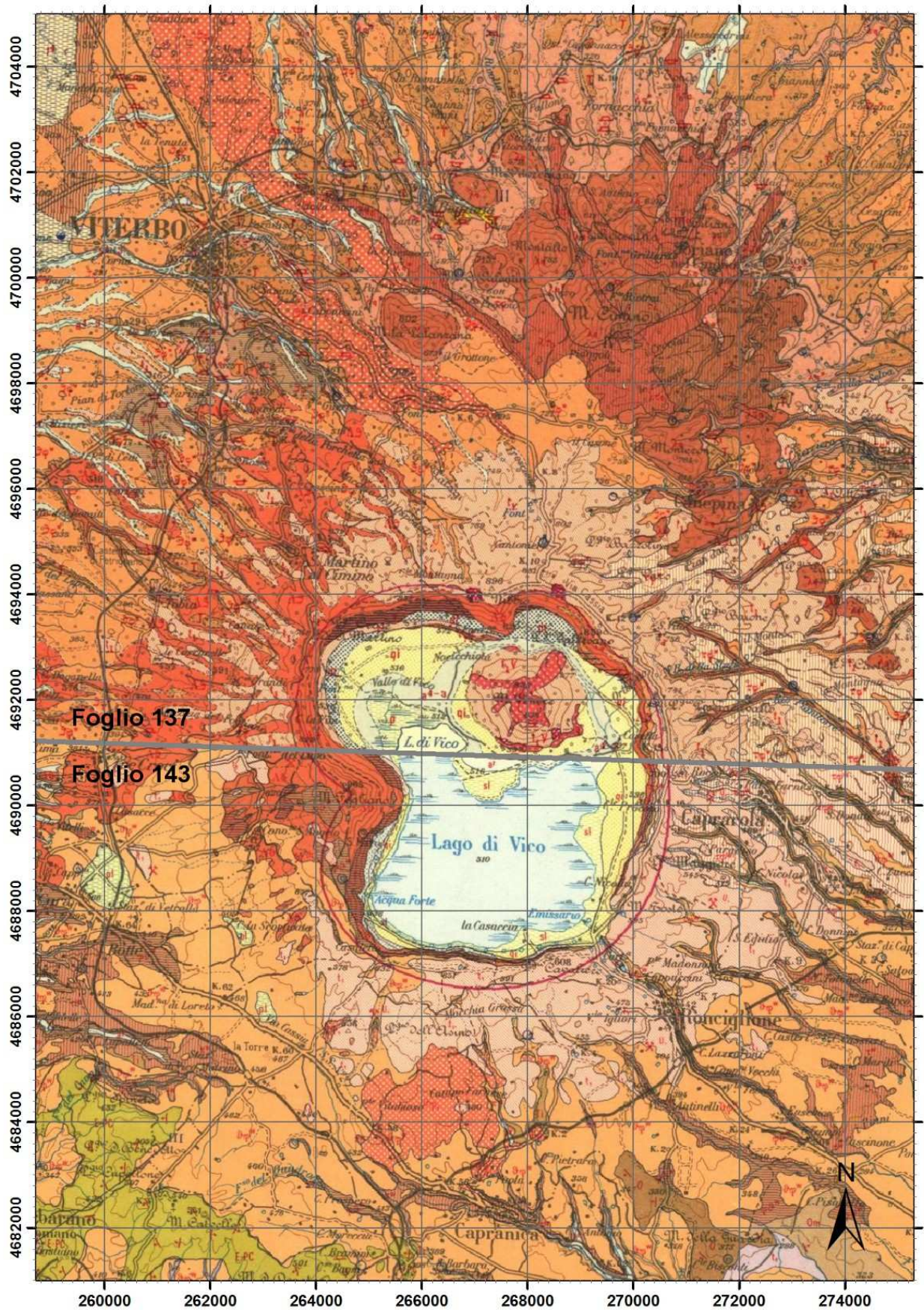


Figura 2 – Stralciato scalato della Carta Geologica d'Italia al 100k relativo alla zona di interesse (da fogli 137 e 143); coordinate in metri (UTM zona 33, ED50), reticolo con maglia 2 km x 2 km

Tabella 1– Legenda affioramenti dei litotipi relativi all’apparato vulcanico Vicano, modificata dai Fogli 137 (Viterbo) e 143 (Bracciano) della Carta Geologica d’Italia al 100k

	Descrizione
	(dt) Detrito di falda. (SI) Sabbie dei litorali lacustri.
	(a ²) Alluvioni medio recenti ed attuali: depositi eluviali terrosi, a luoghi argilloso sabbiosi, dei fondo- valle; prodotti di disfacimento dei versanti dove non è possibile distinguervi la roccia di origine
	(qi), (pl) Tufi rimaneggiati e tufiti a stratificazione minuta suborizzontale, con potenza complessiva limitata a pochi metri, delle depressioni di Vico e di Bracciano (qi). Depositi sartumosi: argille terrose nerastre o grigiastre dovute al colmamento di conche palustro-lacustri (pl).
	(t ₁) Tufi finali, prevalentemente trachitico-fonolitici, bruni o biancastri, per lo più cineritici, con strati a lapilli ed a blocchi soprattutto sulle pendici esterne dell’apparato; stratificazione fitta con ondulazioni frequenti e piuttosto ampie.
	(τ φ ^w) “Ignimbrite” IV, prevalentemente trachitico-fonolitica, biancastra, con pomici grige, nere e biancastre, ricca di ciottoli lavici: in alto sfuma verso i tufi agglomeratici; è diffusa sul versante orientale dell’apparato (“tufo bianco di Fabrica” – “ignimbrite D”); spessore limitato a max 80 m.
	(θ φ ^w) “Ignimbrite III”, prevalentemente tefritico-fonolitica, con transizioni a termini trachitici e latitici, con pomici generalmente giallastre e rossastre frammiste a pomici nere a grossi fenocristalli di leucite e sanidino. Facies a xenoliti di lave diverse, da minute ad enormi, e a pomici nere, caratteristica soprattutto dei pendipericalderici. Potenza notevole, largamente variabile, grado di compattezza vario ed in funzione del grado di alterazione della roccia: le porzioni più fresche sono grigio-scure e sciolte (“pozzolana”), mentre quelle alterate, giallo-rossicce, con rare pomici nere, sono compatte e coltivate per blocchetti da costruzione (“tufo litoide a scorie nere”, “ignimbrite C”).
	(τ ^w - τ ρ ^w) “Ignimbrite II” trachitica, prevalentemente grigia, con pomici nere o più chiare, caratterizzate da grossi fenocristalli di sanidino e prive di leucite. Frequenti facies cineritiche, specialmente al letto e al tetto. È diffusa soprattutto nel settore meridionale dell’apparato, ove raggiunge uno spessore massimo di 50 m (“Ignimbrite B”).
	(φ θ ^w) “Ignimbrite I”, fonolitico-tefritica, con frequenti transizioni a tipi trachitici e latitici; prevalentemente grigia o grigio-violacea, fittamente cosparsa di piccole leuciti, di aspetto agglomeratico con frammenti lavici e con pomici piuttosto compatte a feldspati e leucite (“Ignimbrite A”. Spessore medio 10 m. Facies laviche variamente microvescicolate rappresentano la transizione ai tipi suddetti. Alla base generalmente compare un livello di tufi pomicei biancastri.
	(θ φ ₁) Lave tefritico-fonolitiche a leucite, con fenocristalli di dimensioni molto varie. Rocce di color grigio-violaceo, solitamente poco coerenti (“petrisco” dei locali) perché diffusamente vescicolate e a vario grado di alterazione (Campo Farnese).
	(Δ θ) Tefriti fonolitiche e fonoliti tefritiche con grosse ed abbondantileuciti, con o senza sanidini (“occhio di pesce” od “occhjadina” dei locali), compatte o ampiamente arenizzate. Serie di più colatedi varia potenza, con intercalazioni di ceneri e lapilli in lenti di pochi metri; generalmente alla base delle formazioni ignimbritiche, localmente intercalate (Vetralla). Costituiscono l’apparato centrale e piccoli apparati periferici e si estendono fino a 20 km dalla fascia intercalderica.
	(τ) Lave trachitiche a grossi sanidini e lave trachitiche a leucite, fino a fonoliti; grige, molto compatte, un po’ bollose, formano coalte potenti qualche decina di metri, spesso intercalate con le precedenti Δ θ; affiorano nella fascia intercalderica.
	(Ti) Complesso tufaceo composito, comprendente tutti i tipi sopradescritti, con prevalenza di tipi trachitici-fonolitici, bruno-giallastro, per lo più cineritico, con strati a lapilli e pomicette di dimensioni variabili (diametro 1-3 cm); alternanze di strati o lenti di limi e sabbie con prevalenti elementi vulcanici e piante e molluschi dulcicoli; localmente livelli paleosuolizzati. Comprende per la gran parte prodotti rimaneggiati di formazioni vulcanitiche precedenti ed indica fenomeni esplosivi ed erosivi intercalati alle manifestazioni laviche ed “ignimbritiche”.
	(E-PC, Ea) Calcarei marnosi e marne giallastre grigio-chiare a luoghi rossastre tipo “scaglia”, calcari marnosi di tipo “pietra paesina”, con intercalazioni di argilloscisti varicolori, calcareniti talora con selce, arenarie giallastre e breccie nummulitiche (E-PC; a luoghi passanti a grosse lenti di argilloscisti siltosi bruni o varicolori (Ea)

L'attività del distretto vulcanico Cimino è stata caratterizzata principalmente dalla risalita, lungo fratture preesistenti, di magmi viscosi acidi con la formazione di domi e cupole di ristagno; l'evoluzione dei domi è stata accompagnata da violente fasi esplosive che hanno determinato la messa in posto di ignimbriti quarzolatitiche (*Peperino tipico* del viterbese) e lave latitico-trachitiche oliviniche

Nell'areale Cimino sono attualmente riconoscibili almeno 50 rilievi costituiti da domi di lave a composizione riolitico-trachidacitica, distribuiti lungo linee semiradiali e semianulari rispetto alla porzione apicale del laccolite (corrispondente al rilievo del monte Cimino); altri domi probabilmente, sono sepolti sotto la copertura ignimbritica o sono stati distrutti dalla loro stessa attività esplosiva (Capelli et al., 2007).

L'attività del distretto Cimino sembra terminare con l'emissione di lave latitiche o olivinatitiche inespandimenti che si sviluppano fino a 10 km dal centro di emissione.

Le età determinate al K/Ar per alcuni prodotti cimini (Cimarelli et al., 2008) risultano essere 1.35 ± 0.075 Ma, per il *peperino tipico*, 1.01 Ma per il *peperino delle alture* e 0.94 Ma, per il complesso delle lave finali (*ciminiti*).

Le numerose fonti bibliografiche disponibili relative alla stratigrafia del complesso Cimino differiscono sensibilmente nella definizione di dettaglio delle diverse fasi di attività e nella nomenclatura adottata; le stratigrafie proposte dai lavori più recenti sono sintetizzate nella seguente tabella.

Tabella 2 – Stratigrafie del complesso Cimino a confronto, modificato da Cimarelli et Al., 2008; evoluzione temporale dall'alto (formazioni più antiche) al basso (form. più recenti)

Micheluccini et al., 1971	Sollevanti, 1986	Lardini e Nappi, 1987	Cimarelli e de Rita, 2006
Ignimbrite	1 ^a Ignimbrite	Domi 1 ^o ciclo	Domi
Domi	Domi endogeni	Ignimbrite inferiore	1 ^a e 2 ^a Ignimbrite
Lave latitiche	2 ^a Ignimbrite	Domi 2 ^o ciclo	Lave latitiche
Lave olivin-latitiche	Lave latitiche	Surges, ignimbrite superiore	Lave olivin-latitiche
-	-	Lave latitiche	-
-	-	Lave olivin-latitiche	-

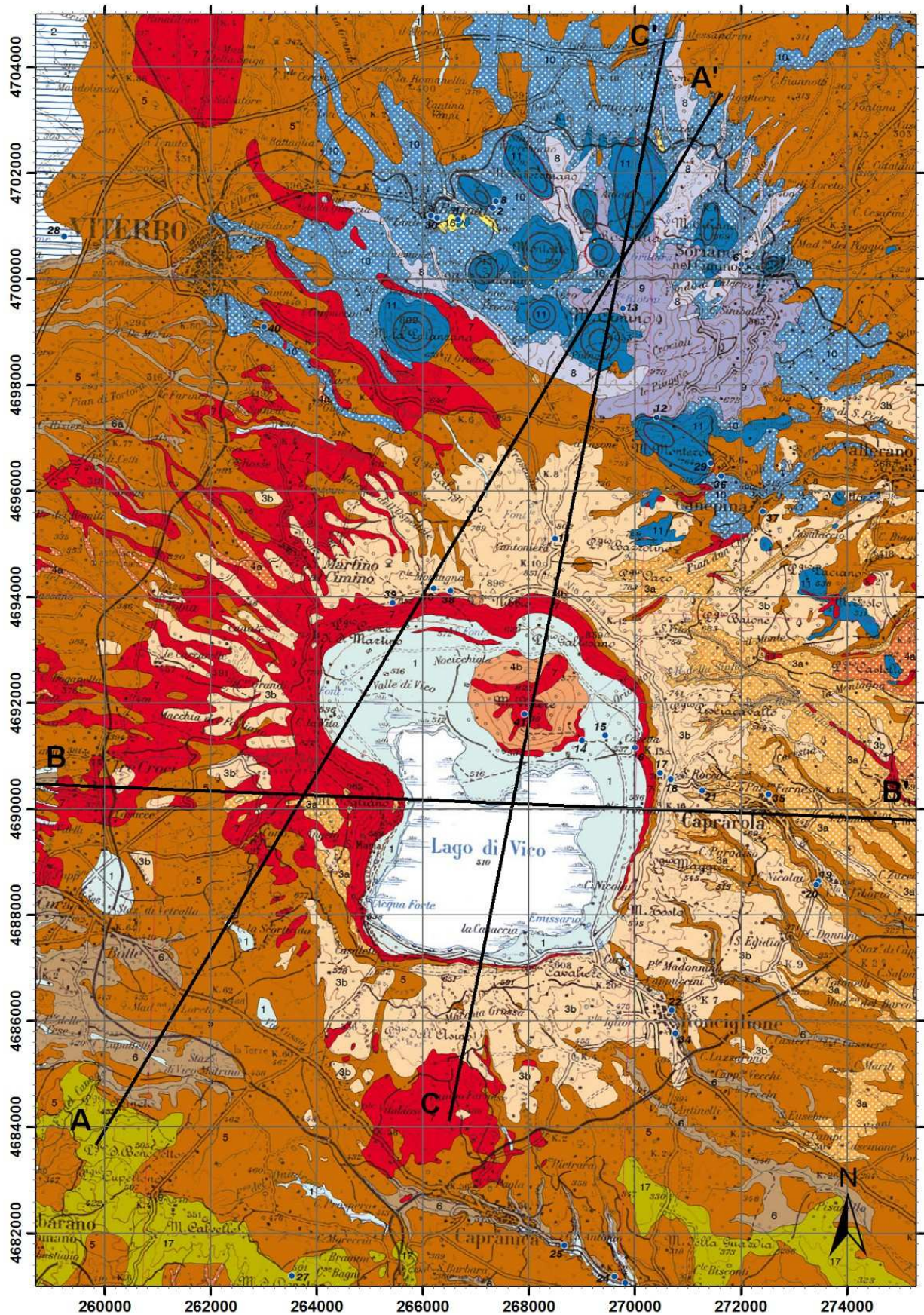


Figura 3 – Stralciato scalato della *Carta delle geodiversità dei distretti vulcanici cimino e vicino* in scala 1:75.000 (Cimarelli et al., 2008); coordinate UTM zona 33, ED50, reticolo con maglia 2 km x 2 km

Tabella 3– Legenda degli affioramenti relativi all’attività degli apparati vulcanici Vicano e Cimino, modificata dalla *Carta delle geodiversità (...)* in scala 1:75.000 (Cimarelli et al., 2008)

	Descrizione
	(1) ALLUVIONI, DEPOSITI LACUSTRI E DETRITO DI VERSANTE RECENTE ED ATTUALE: includono i depositi alluvionali di fondovalle e della conca lacustre del lago di Vico, che si sono formati soprattutto a partire dalla fine dell’attività vulcanica, ed i depositi relativi all’accumulo di materiale detritico, alla base dei rilievi maggiori, mobilizzato da pioggia o attività antropica e preso in carico dalla forza di gravità (...)
	...
	(3b/3a) DEPOSITI FREATOMAGMATICI E DI COLATA PIROCLASTICA FREATOMAGMATICA: includono depositi vulcanici in cui il processo di interazione acqua/magma è stato il fattore determinante per la frammentazione del magma. Comprendono sia depositi di grande volume ed estensione (a) che di estensione limitata e volume modesto (b) . (...) sono il prodotto della fase finale di attività dello strato-vulcano di Vico, nel periodo delle grandi eruzioni ignimbritiche (Ignim. D e parte dei tufi finali), (...) verificate per interazione del magma con le acque del lago instauratosi nella depressione calderica sommitale del vulcano a seguito delle eruzioni delle ignimbriti A, B e C. Depositati generalmente di colore grigi, matrice-sostenuti con granulometria molto fine e arricchiti in litici di natura varia; presentano strutture sedimentarie tipiche come ondulazioni e stratificazioni incrociate dei letti cineritici; spesso parzialmente cementati per zeolitizzazione (matrice vetrosa alterata in minerali zeolitici).
	(4b/4a) DEPOSITI DI RICADUTA DA CENTRI POLIGENETICI E MONOGENETICI: depositi formati per accumulo di materiali di ricaduta dopo esser stati trasportati in alto da colonne eruttive sostenute (a) o scagliati in aria direttamente dal cratere (clasti balistici, b). Possono formarsi in una singola o in più eruzioni intervallate da periodi di quiete. Si tratta di depositi relativi all’attività dello strato-vulcano principale di Vico (0.4-0.2 Ma), dell’attività di costruzione di monte Venere e di piccoli coni di scorie periferici.
	(5) COLATE PIROCLASTICHE LITOIDI CEMENTATE: include depositi zeolitizzati in cui l’alterazione della matrice vetrosa in zeoliti ha cementato il materiale rendendolo compatto e litoide. Nel caso del vulcano di Vico, a questa categoria appartiene il deposito dell’ <i>ignimbrite C</i> (Locardi, 1965) o Tufo rosso a scorie nere. Presenta matrice rossastra cineritica in cui si trovano sparse grosse scorie nere ricche di cristalli di sanidino. Alla base del deposito è spesso possibile osservare un deposito di pomice bianche.
	(6) COLATE PIROCLASTICHE PREVALENTEMENTE POZZOLANACEE: include depositi non coerenti, in cui la componente iuvenile è costituita da scorie, pomice o lapilli in una matrice cineritica; nel caso del vulcano di Vico, include le <i>ignimbriti A e B</i> deposte tra 0.2 e 0.15 Ma (fase più esplosiva del vulcano centrale). I depositi si presentano caotici e massivi di colore dal grigio scuro al nero con scorie di grandi dimensioni e molto vescicolate in cui si riconoscono cristalli di leucite.
	(7) COLATE DI LAVA DA MEDIO A SOTTOSATURE: include i corpi derivati dal raffreddamento di un magma da poco saturo a sottosaturo e poco viscoso che ha corso generalmente nelle paleodepressioni. Nel caso del vulcano di Vico include le lave dello strato-vulcano e gli espandimenti da fratture laterali dell’edificio. Si tratta di lave molto ricche in potassio (da trachiti a leuciti a tefriti fonolitiche) caratterizzate da una matrice fine vetrosa in cui si riconoscono cristalli di leucite spesso alterata.
	(8) COLATE DI LAVA DA MEDIO A SOTTOSATURE: include i corpi derivati dal raffreddamento di un magma da poco saturo a sottosaturo e poco viscoso corso nelle paleodepressioni. Nel caso del vulcano Cimino si tratta degli ultimi espandimenti lavici emessi dall’area dopo l’eruzione parossistica delle ignimbriti
	(9) COLATE DI LAVA DA MEDIO A SATURE: include i corpi derivati dal raffreddamento di un magma da saturo a sovrassaturo, molto ricco in SiO ₂ e quindi viscoso. Si tratta di colate tozze e di breve estensione con rapporto altezza/lunghezza a favore dell’altezza.
	(10) IGNIMBRITI LITOIDI SALDATE: depositi da flusso emessi ad alta T (hanno mantenuto il calore a lungo (in modo da realizzare saldature efficienti e molto coerenti, simili in tenacia alle lave) nella fase esplosiva del vulcano Cimino dopo la messa in posto del corpo intrusivo e dei domi. Di colore grigio-rosato, sono massivi, caotici e saldati; presentano matrice vetrosa con scorie nere allungate nella direzione di flusso (<i>fiamme</i>); vengono cavati per ricavarne lastre ornamentali (<i>peperino cimino</i>)
	(11) DUOMI DI LAVA E DOMI DI LAVA COULEE: accumuli di lava saturo molto viscoso di tipo <i>plug</i> o <i>low lava dome</i> ; nel caso del vulcano Cimino i plugs sono i domi originatisi nella parte centrale del corpo intrusivo, con morfologie rilevate con fianchi ripidi (maggiori altezze topografiche dell’area); lave molto cristalline. Le coulee sono brevi colate laviche di magmi mediamente viscosi che hanno potuto scorrere su pendii inclinati (domi periferici)
	...
	(17) BASAMENTO SEDIMENTARIO PRE-VULCANICO (CRETACICO-PLIOCENE INFERIORE): flysch successione tolfetana: alternanze di marne, argille e calcari compatti deposti da correnti di densità (torbide) provocate da movimenti franosi lungo le scarpate continentali durante la sedimentazione sin e post orogenica.

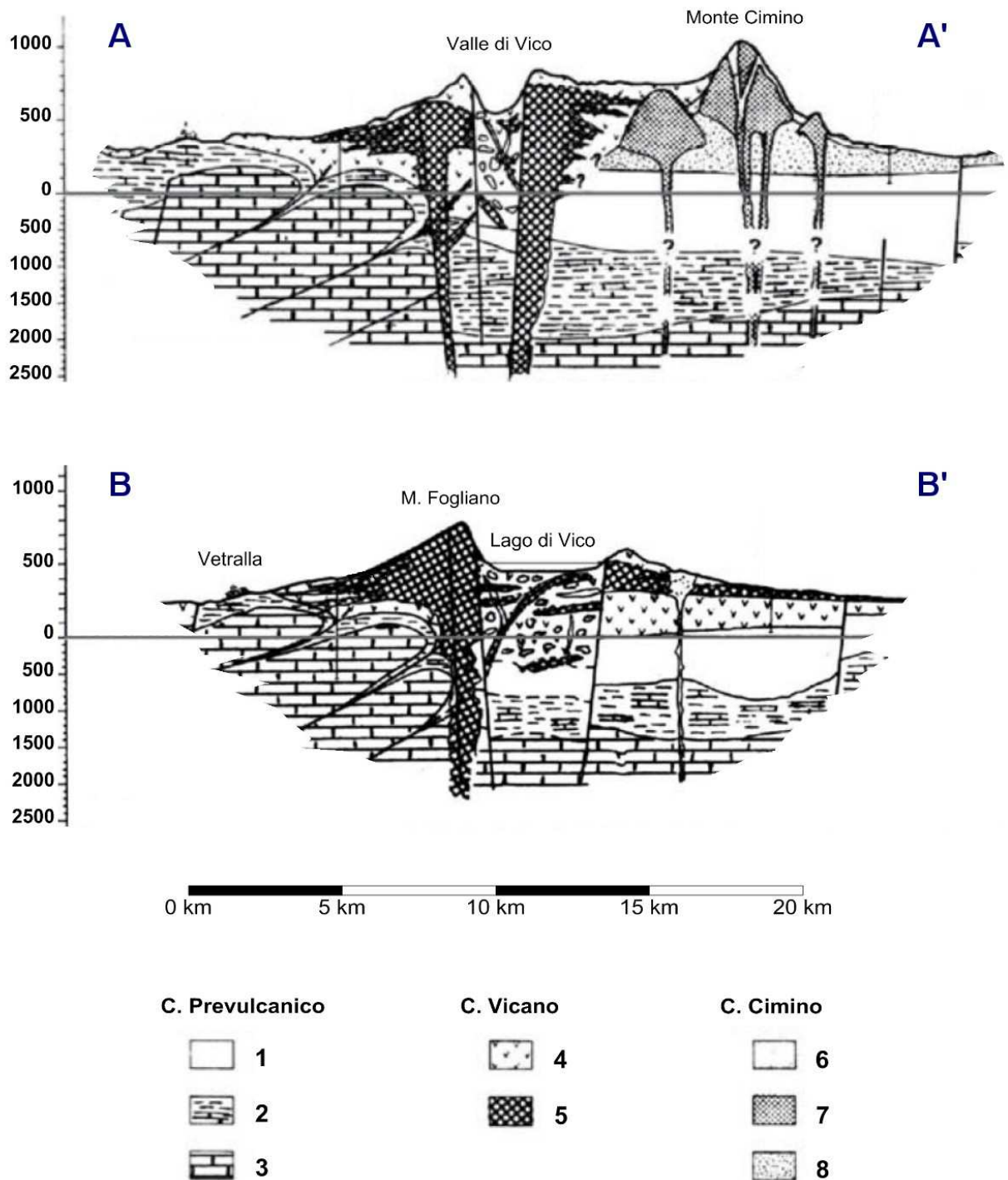


Figura 4 – Sezioni geologiche qualitative A-A' e B-B' (modificate da La Torre et al., 1981). LEGENDA:
 1) Formazioni del ciclo neautoctono (Miocene, Pliocene, Quaternario); 2) Formazioni alloctone in facies di flysch (Cretacico superiore – Oligocene); 3) Basamento carbonatico mesozoico; 4) Tufi e lave; 5) Lave e tufi; 6) Colate di lava; 7) Lave in domi; 8) Ignimbriti.

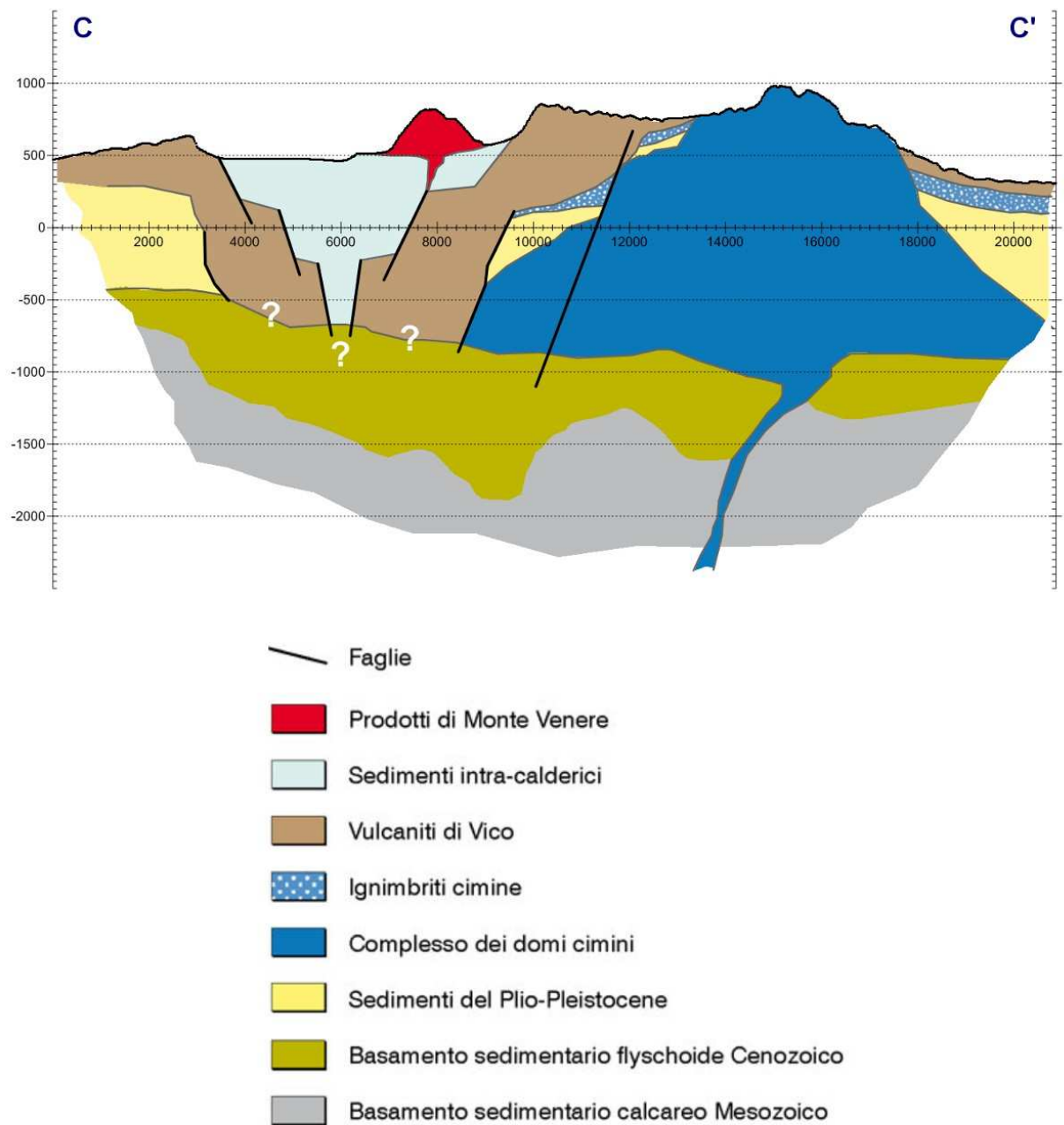


Figura 5 – Sezione geologica C-C', modificata dalla Carta delle geodiversità dei distretti vulcanici cimino e vicano in scala 1:75.000 (Cimarelli et al., 2008); distanze in metri; fattore di esagerazione verticale pari a 3

Il distretto vulcanico Vicano, immediatamente a sud dell'apparato vulcanico Cimino, è stato caratterizzato da un'attività essenzialmente esplosiva con chimismo alcalino-potassico, iniziata al termine dell'attività del Cimino e sviluppatasi tra 0.8 e 0.09 Ma. Il distretto si sviluppa principalmente da un edificio centrale, dalla tipica forma di strato-vulcano con la parte terminale troncata da una caldera eccentrica verso Sud, caratterizzata dalla presenza, al suo interno, dell'edificio secondario di Monte Venere.

Le fonti bibliografiche consultate inerenti la stratigrafia del vulcano di Vico presentano un sostanziale accordo sugli eventi eruttivi principali; la nomenclatura e le definizioni delle unità ignimbriche proposte nei tre lavori più significativi sono sintetizzate in Tabella 4.

Tabella 4 – Stratigrafie del complesso Vicano a confronto, modificato da Cimarelli et Al., 2008; evoluzione temporale dall'alto (formazioni più antiche) al basso (form. più recenti)

Locardi, 1965	Mattias & Ventriglia, 1970	Bertagnini & Sbrana, 1986
-	Peperini listati Tufi varicolori vicani	Fase 1 (0.6 – 0.4 Ma) Piroclastiti varicolori vicane
Costruzione dello strato vulcano di Vico	-	Fase 2 (0.4 – 0.2 Ma) Costruzione dell'edificio lavico
Ignimbrite A Ignimbrite B Ignimbrite C Ignimbrite D	Tufo grigio vicano Tufo rosso a scorie nere Tufo litoide non stratificato biancastro Tufo biancastro sottilmente stratificato	Fase 3 (0.2 – 0.15 Ma) Ignimbriti A, B, C e D
Attività di Monte Venere	Tufi stratificati di Monte Venere	Fase 4 (0.15 – 0.06 Ma) Fase postcalderica o di Monte Venere

La stratigrafia più recente e dettagliata a cui ormai fa riferimento la comunità scientifica (Cimarelli et Al., 2008) è quella proposta da Bertagnini e Sbrana (Bertagnini et Al., 1986), nella quale l'attività del vulcano è suddivisa in quattro *fasi* e vengono distinte, per facies e aspetti petrografico-mineralogici, almeno quattro tipi di ignimbrite (Figura 6).

Durante la fase iniziale di attività del vulcano vicano (*fase 1*), compresa tra 0.9 e 0.4 Ma, si verificano numerose colate di lava (a composizione variabile da trachiti a fonoliti, a tefriti) con emissione subordinata di prodotti piroclastici. I prodotti di lancio (alternanze di livelli cineritici con letti di pomice e lapilli) nel loro insieme prendono il nome di *formazione dei tufi stratificati varicolori vicani*; la composizione dei termini più evoluti di questa formazione varia da latiti a trachiti sovrassature, mentre sono presenti anche tephra porfirici a leucite molto alterati.

La fase successiva (*fase 2*), compresa tra 0.4 e 0.2 Ma, corrisponde a un periodo di attività prevalentemente effusiva durante la quale viene edificato l'edificio centrale dello strato vulcano; la successione di lave, prodotta dall'emissione di magmi formati per processi di cristallizzazione frazionata all'interno di una camera magmatica non molto profonda, è costituita alla base da lave trachitiche a leucite, cui seguono lave meno evolute, di composizione variabile da tefriti fonolitiche a fonoliti tefritiche. La serie, che nella sua evoluzione si può osservare agevolmente sul bordo interno della caldera, è chiusa superiormente da lave fonolitiche.

Nella *fase 3*, a carattere essenzialmente esplosivo e compresa tra 0.2 e 0.15 Ma, furono dislocati i maggiori volumi di prodotti piroclastici, che coprono quasi tutta l'estensione del vulcano vicano e che sono maggiormente in affioramento; si tratta di tre unità ignimbriche note con i nomi di ignimbrite A, B e C, emesse a seguito di eruzioni pliniane caratterizzate da

una sequenza eruttiva che comprende depositi di ricaduta, quindi depositi di colata piroclastica e depositi finali idromagmatici (non sempre presenti).

In particolare, l'eruzione dell'ignimbrite C, datata a circa 0.15 Ma, è considerata l'evento principale nella storia del vulcano vicano: come descritto nelle *Note illustrative della carta delle geodiversità* (Cimarelli et al., 2008), essa *inizia con un deposito di pomice pliniane disperse a SW, seguito da colate piroclastiche pomicee grigio rosate e saldate*. Prosegue con *una fase parossistica, con l'eruzione di brecce grossolane prive di elementi fini, molto ricche in litici alla base e costituite da colate di scorie parzialmente saldate verso l'alto*. Viene infine chiusa da depositi della fase più tipica dell'ignimbrite C, caratterizzata da *una matrice cineritico-vetrosa, di colore rosso mattone, contenente grosse scorie nere*. In letteratura quest'ultima unità è più nota con il nome di *tufo rosso a scorie nere*. L'unità C si estende per oltre 25 km dal vulcano e copre un'area di 1200 km², con un volume di magma eruttato compreso tra 3 e 5 km³.

E' alla fine di questa fase che si origina la caldera sommitale di Vico, definita *composita* perché prodotta per crolli ed allargamenti successivi ad ogni evento esplosivo; a seguito di un suo parziale collasso, si ha l'inizio della formazione di un bacino lacustre.

Proprio a causa della presenza di acque all'interno della caldera si registra un drastico cambiamento nell'attività del vulcano, che diventa prevalentemente idromagmatica; dalle violente interazioni acqua-magma, nella quarta e ultima fase (*fase 4*), tra 0.14 e 0.095 Ma, si è originata la formazione di sottili piroclastiti idromagmatiche a composizione fonolitico-tefritica, visibili sul bordo meridionale della caldera, seguita dall'emissione dei prodotti dell'ignimbrite D (depositi idromagmatici, surge piroclastici e colate piroclastiche idromagmatiche), a composizione fonolitica.

Dopo un lungo periodo di quiete, con formazione di un paleosuolo spesso fino a 2 m, si è verificata un'eruzione finale di prodotti piroclastici che nel loro insieme costituiscono la formazione dei tufi finali (tufo cineritico con inclusi lavici). L'edificazione del cono di Monte Venere, nel settore nord-orientale della caldera poligenica sommitale, costituito da lave a composizione fonolitico-tefritica, segna il termine dell'attività principale (Locardi, 1965); del vulcano di Vico; l'area è a tutt'oggi interessata da note manifestazioni idrotermali, a dimostrazione che il sistema dinamico non ha ancora raggiunto un definitivo equilibrio.

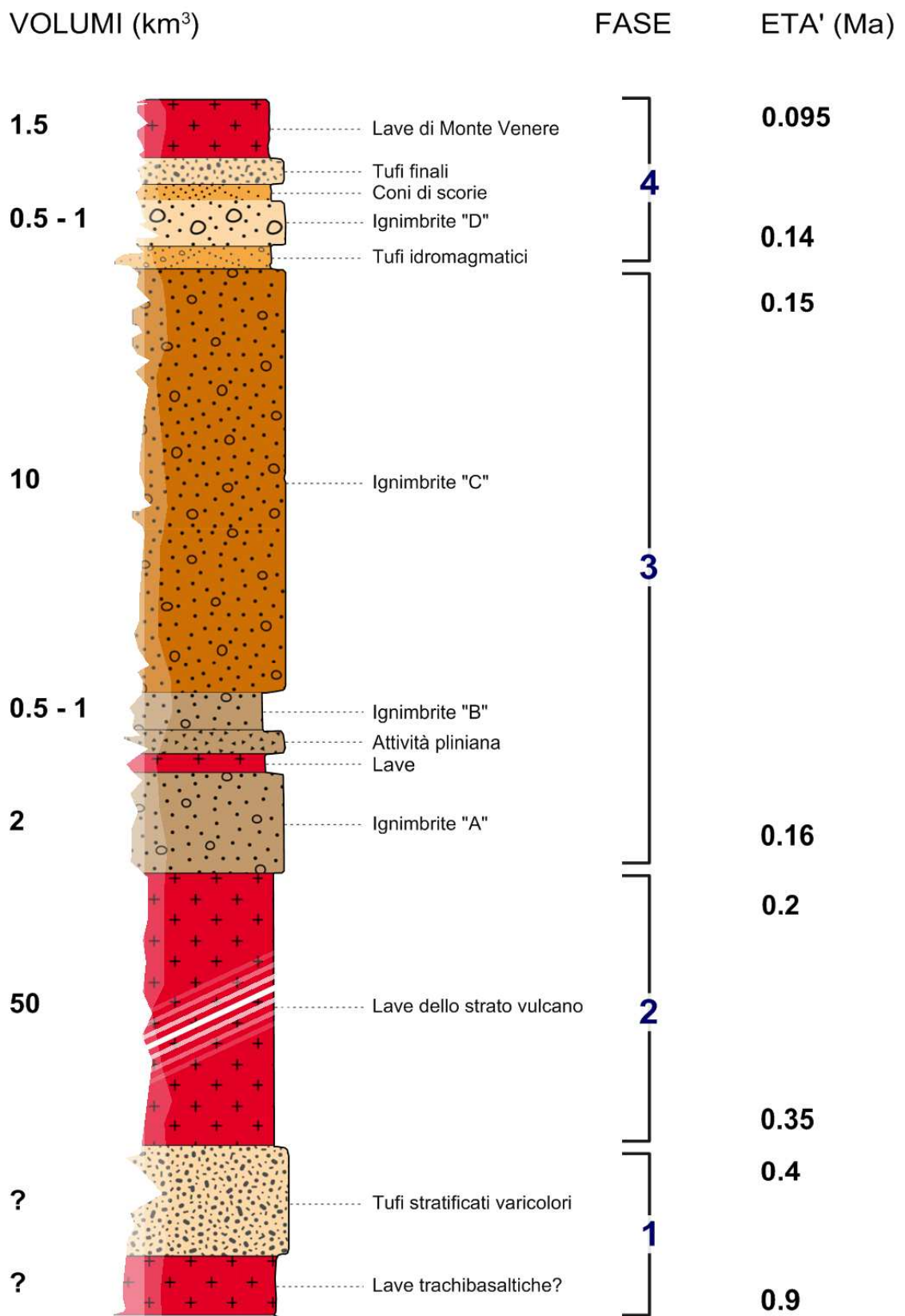


Figura 6 – Colonna stratigrafica riassuntiva delle fasi di attività del vulcano di Vico, con indicazione delle età radiometriche al K/Ar e stima dei volumi dislocati; modificata da Cimarelli et al., 2008.

2.3 Morfologia del bacino e batimetria del lago

La zona che comprende i rilievi del vulcanesimo Cimino-Vicano costituisce una fascia sollevata rispetto alle aree circostanti orientata NNW-SSE il cui punto più elevato corrisponde al Monte Cimino, che raggiunge i 1052 m di altezza. Tuttavia, mentre i rilievi cimini sono costituiti da una serie di morfologie domiformi disposte radialmente rispetto alla cima principale, il lago di Vico ed i rilievi che ne limitano la caldera individuano un centro di emissione preferenziale che costituisce un evidente stacco morfologico.

Il bacino oggetto del presente piano della caratterizzazione coincide con la caldera poligenica del vulcano di Vico, venutasi a formare per ripetuti collassi del suo cono a seguito dello svuotamento parziale della camera magmatica sottostante, in concomitanza delle eruzioni ignimbriche che ne hanno caratterizzato l'attività (cfr. par. 2.2).

All'interno della caldera, nel settore NE (Figura 7), si erge il cono di Monte Venere (838 m s.l.m), in posizione eccentrica probabilmente determinata dalla geometria dei blocchi collassati che hanno costretto il magma in risalita ad aprirsi un condotto in quel settore (Cimarelli et al., 2008).

La porzione più depressa dell'invaso-caldera, di forma sub circolare, è occupata dal lago di Vico, il cui specchio d'acqua, alla quota media di 510 m s.l.m, ricopre circa 12 km² dei complessivi 41 km² del bacino.

Il lago è contornato da una fascia sub pianeggiante di limitata estensione, maggiormente consistente nell'area Nord (località *Pantanacce* e *Pantanello*) ed Est (località *Procoio*). Quasi per l'intero perimetro del lago la piana è interrotta verso monte da una brusca rottura di pendio e i versanti si elevano molto acclivi fino all'orlo calderico, i cui punti più elevati sono costituiti da Poggio Nibbio (896 m s.l.m.) a Nord e dal Monte Fogliano (964 m s.l.m.) ad Ovest.

Le pendici sud orientali della caldera, caratterizzate dalle quote meno elevate dell'orlo, presentano una evidente slabbratura in corrispondenza del tratto iniziale (artificiale) del rio Vicano, già descritto nel par. 2.1, che costituisce di fatto l'emissario di un bacino naturalmente *endoreico*.

La particolare morfologia della caldera e la relativa posizione dello specchio d'acqua sono ben rappresentate dai profili altimetrici lungo le tracce di Figura 7, riportati in Figura 8 (profili in direzione S-N) e in Figura 9 (W-E), ottenuti a partire dal più recente modello digitale del terreno disponibile¹ (Tarquini et al., 2007).

Il bacino idrografico funge da divisore tra le acque che ad Est vengono convogliate verso il Tevere e quelle che ad Ovest (versante occidentale del Monte Fogliano) si riversano nel fiume Marta, emissario del lago di Bolsena. Il reticolo idrografico nella parte interna della caldera risulta piuttosto modesto, caratterizzato da un tipico andamento centripeto, verso il lago; ciò è dovuto, probabilmente, alla particolare distribuzione delle pendenze, che non ha favorito la realizzazione di impluvi di una certa importanza (Sibi, 1998); i fossi di recapito delle acque meteoriche più significativi, che risultano comunque di natura effimera con apporti saltuari e proporzionati all'intensità delle precipitazioni, sono ubicati nella porzione nord-orientale del bacino.

¹ TINITALY/01, nuovo DEM (presentato nel 2007) dell'intero territorio italiano (10 m-cell size grid, projection UTM zone 32, Datum WGS 84), prodotto dall'INGV con il supporto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio (progetto DIGITALIA); disponibile su richiesta motivata all'URL: <http://tinality.pi.ingv.it/>

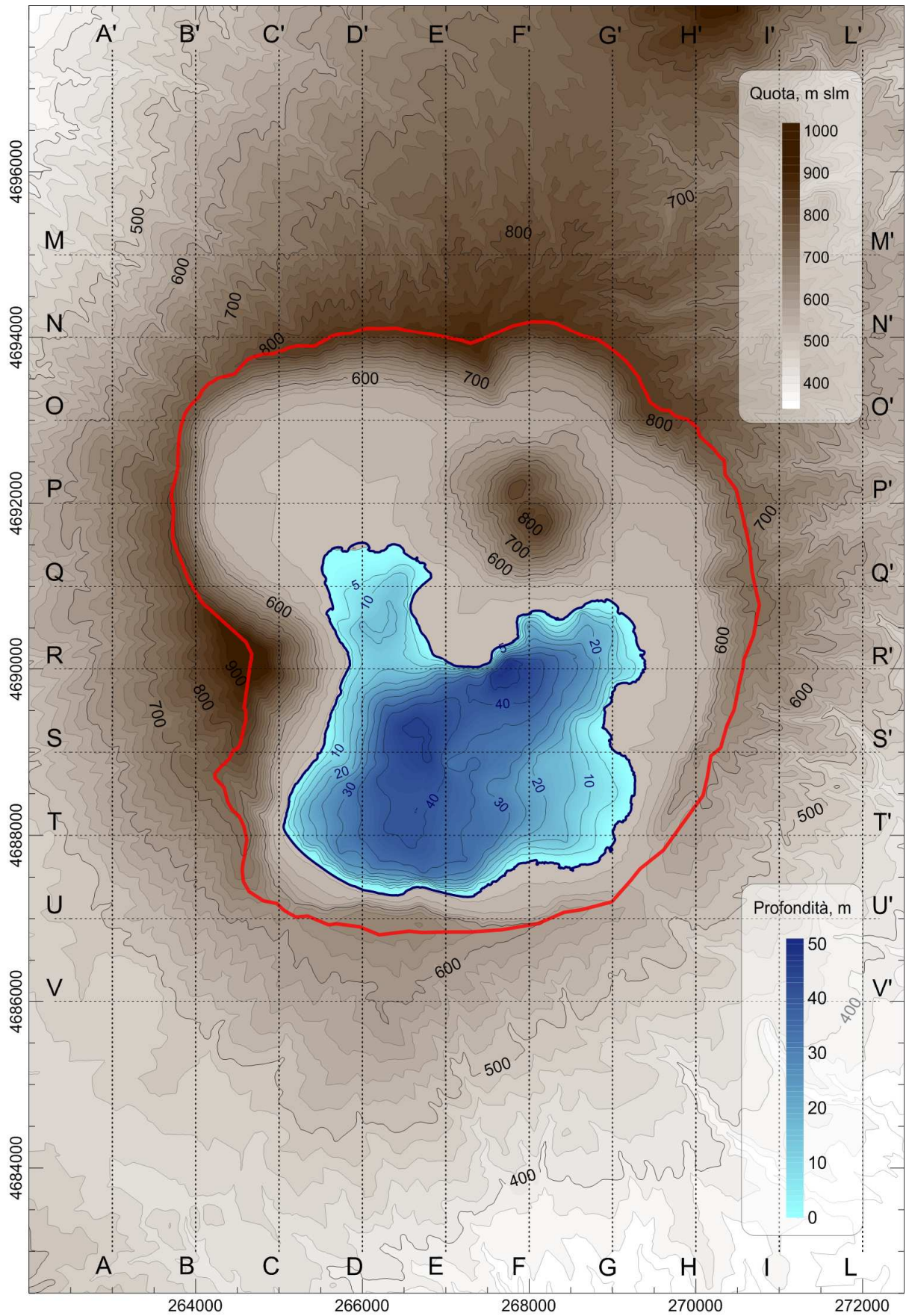


Figura 7 – Morfologia dell'area di studio (isoipse ricavate dal DEM INGV) e batimetria (modificata da Leone et Al., 2001); le lettere indicano le tracce delle sezioni N-S e W-E, rappresentate di seguito

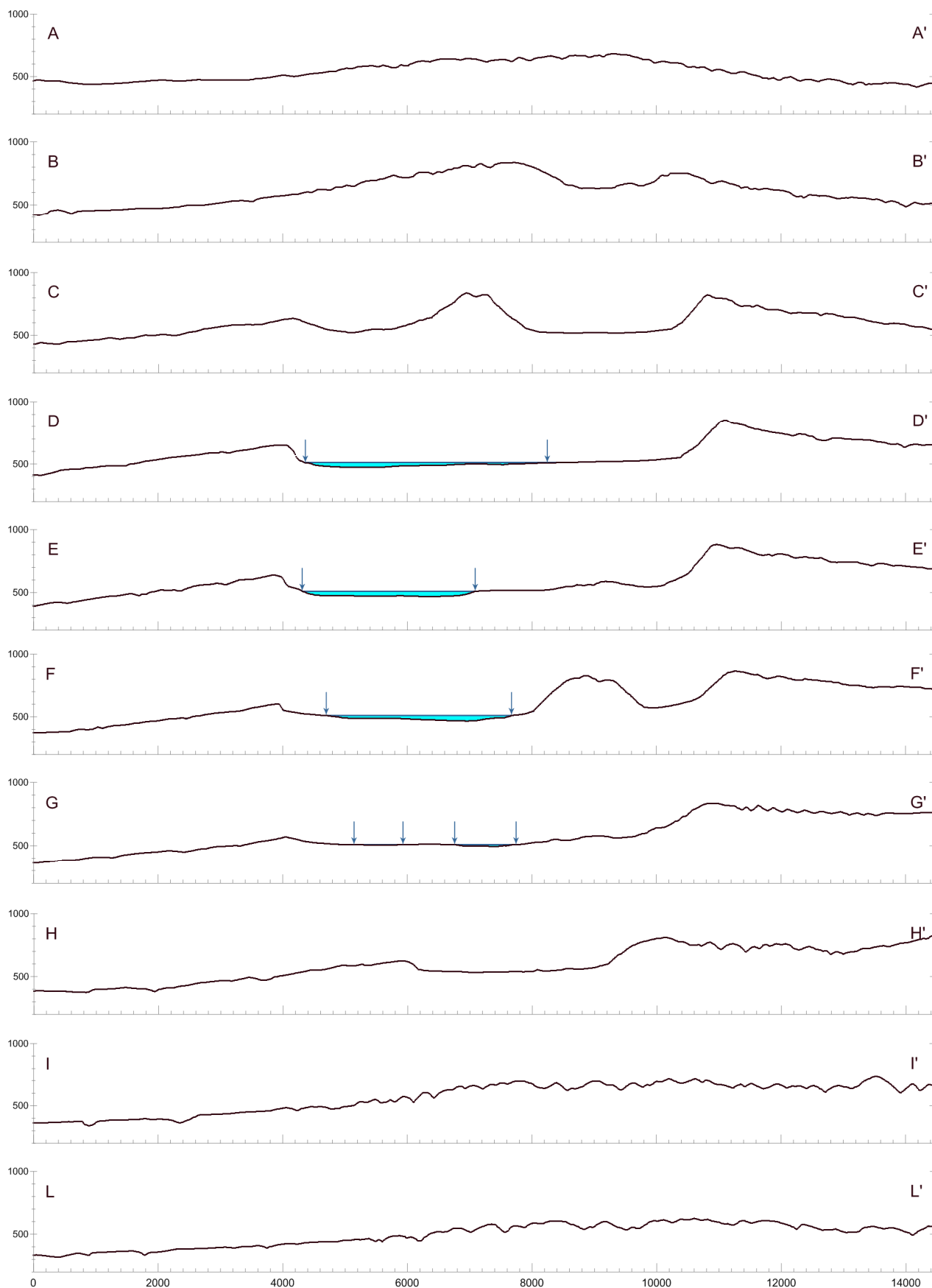


Figura 8 – Profili altimetrici lungo le sezioni S-N tracciate in Figura 7; fattore di esagerazione verticale pari a 2; le frecce azzurre evidenziano le rive del lago; quote e distanze progressive in metri

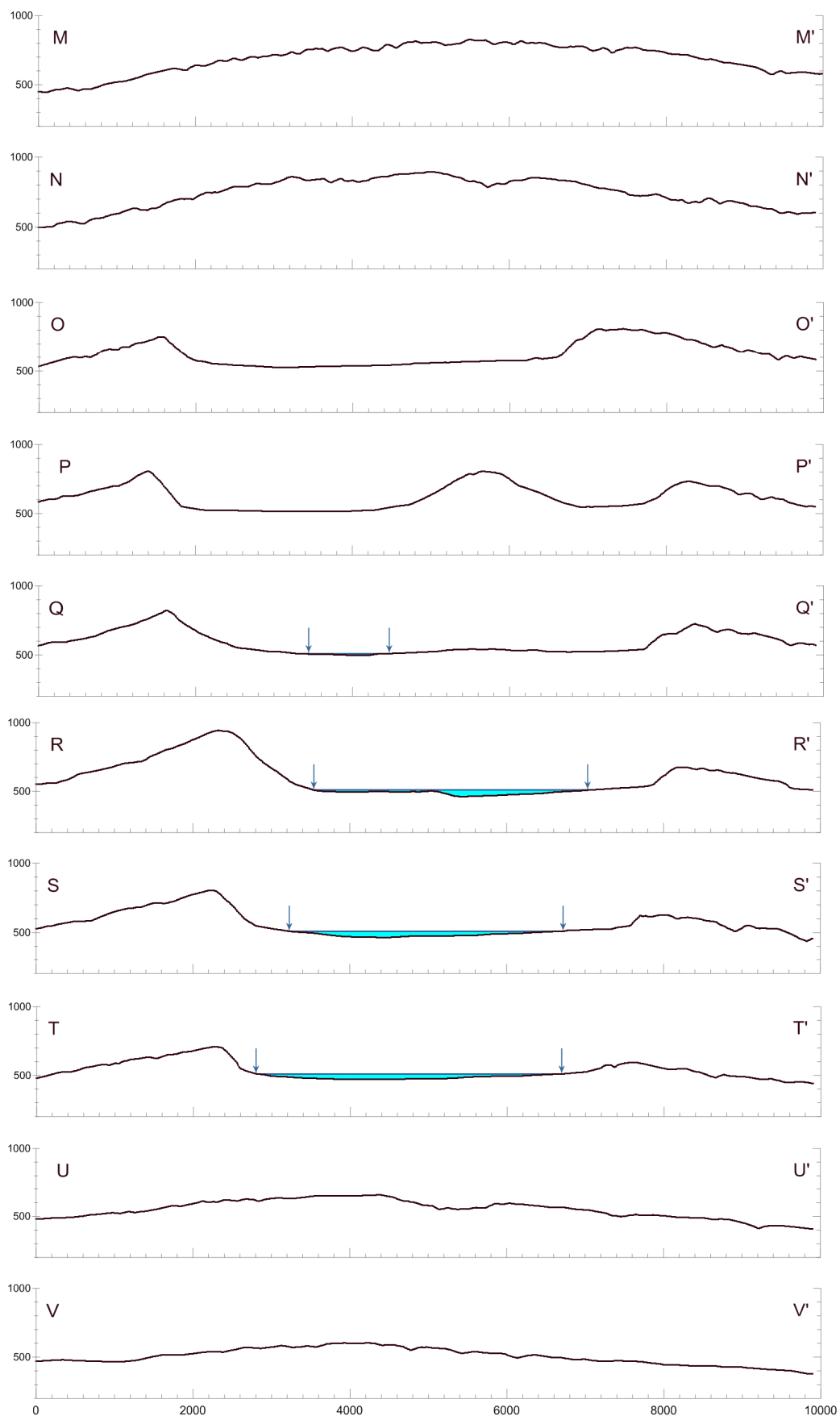


Figura 9 – Profili altimetrici lungo le sezioni W-E tracciate in Figura 7; fattore di esagerazione verticale pari a 1.75; le frecce azzurre evidenziano le rive del lago; quote e distanze in metri

Nella sottostante Tabella 5 si riepilogano le principali caratteristiche morfometriche del corpo lacustre, desunte dai più completi e recenti studi consultati (Capelli et al., 2007; Sibi, 1998).

Tabella 5 – Dati morfometrici relativi al lago e al bacino di Vico (modificata da Capelli et al., 2007, e da Sibi, 1998)

Parametro, simbolo	Espressione	UdM	Valore
Quota media del pelo libero, H	-	m s.l.m.	510
Lunghezza ² , L	-	km	4.95
Larghezza ³ , B_x	-	km	4.60
Superficie dello specchio lacustre, S_s	.	Km ²	12.09
Larghezza media, B_M	$B_M = S_s / L$	km	2.44
Perimetro, P	-	km	16.9
Volume totale, V	-	m ³	260.8·10 ⁶
Profondità massima, Z_{MAX}	-	m	48.5
Profondità media, Z_m	$Z_m = V / S_s$	m	21.6
Sviluppo del volume, D_v	$D_v = \frac{V}{\left(\frac{1}{3}\right) \cdot S_s \cdot Z_{MAX}}$	-	1.33
Grado di incavamento, I	$I = \frac{Z_m}{Z_{MAX}}$	-	0.44
Indice di sinuosità, DL	$DL = \frac{L}{\left(2 \cdot \sqrt{\pi \cdot S_s}\right)}$	-	1.37
Superficie del bacino imbrifero (lago escluso), S_b	-	Km ²	28.8
Superficie del bacino idrogeologico (lago escluso), S_G	-	Km ²	33.3
Indice di lacualità, I_L	$I_L = \frac{S_s}{(S_s + S_b)}$	-	0.29

² La lunghezza L è definita come la distanza più breve tra i due punti più lontani della linea di costa, nello specifico misurata tra la località Pantanacce e l'imbocco dell'emissario

³ La larghezza B è misurata in direzione perpendicolare alla linea lungo la quale è misurata la lunghezza L

In relazione alla batimetria del lago sono stati acquisite ed elaborate (Figura 10) sia la ricostruzione *storica* realizzata negli anni 1967-1968 dall'ex-Istituto Italiano di Idrobiologia (Barbanti, 1968), in origine non georeferenziata, sia quella proposta in un più recente lavoro dell'Università della Tuscia finanziato dalla Comunità Europea (Leone, 2001).

La nuova carta batimetrica, che è stata realizzata acquisendo circa 1300 punti con un'imbarcazione attrezzata per il rilevamento in tempo reale delle profondità⁴ e della posizione⁵ ed elaborando criticamente i dati con un algoritmo interpolativo geostatistico (kriging), è caratterizzata da un errore medio di 3 m e risulta quantitativamente e qualitativamente coerente con la ricostruzione storica.

In particolare, è confermata la presenza di due zone di massima depressione: una a nord, a ridosso della piana del Pantanello, sotto il Monte Venere, che raggiunge al piede di una ripida scarpata sommersa la profondità di circa 48 metri e una seconda, posta in posizione più centrale (al piede del Monte Fogliano), che raggiunge una profondità lievemente inferiore ma comunque dell'ordine di 45 m.

In entrambe le ricostruzioni è individuabile una subunità a sé stante, a NW del lago, limitata a settentrione dalla località Pantanacce, che risulta separata dalla cuvetta principale da una soglia la cui profondità non supera i 15 m (Sibi, 1998); le sponde sommerse presentano caratteristiche morfologiche variabili con la direzione, come evidenziato dalla diversa spaziatura tra le isobate riportate in figura.

⁴ mediante ecoscandaglio Lowrance Electronics X-85

⁵ mediante ricevitore GPS Lowrance Global Nav 200

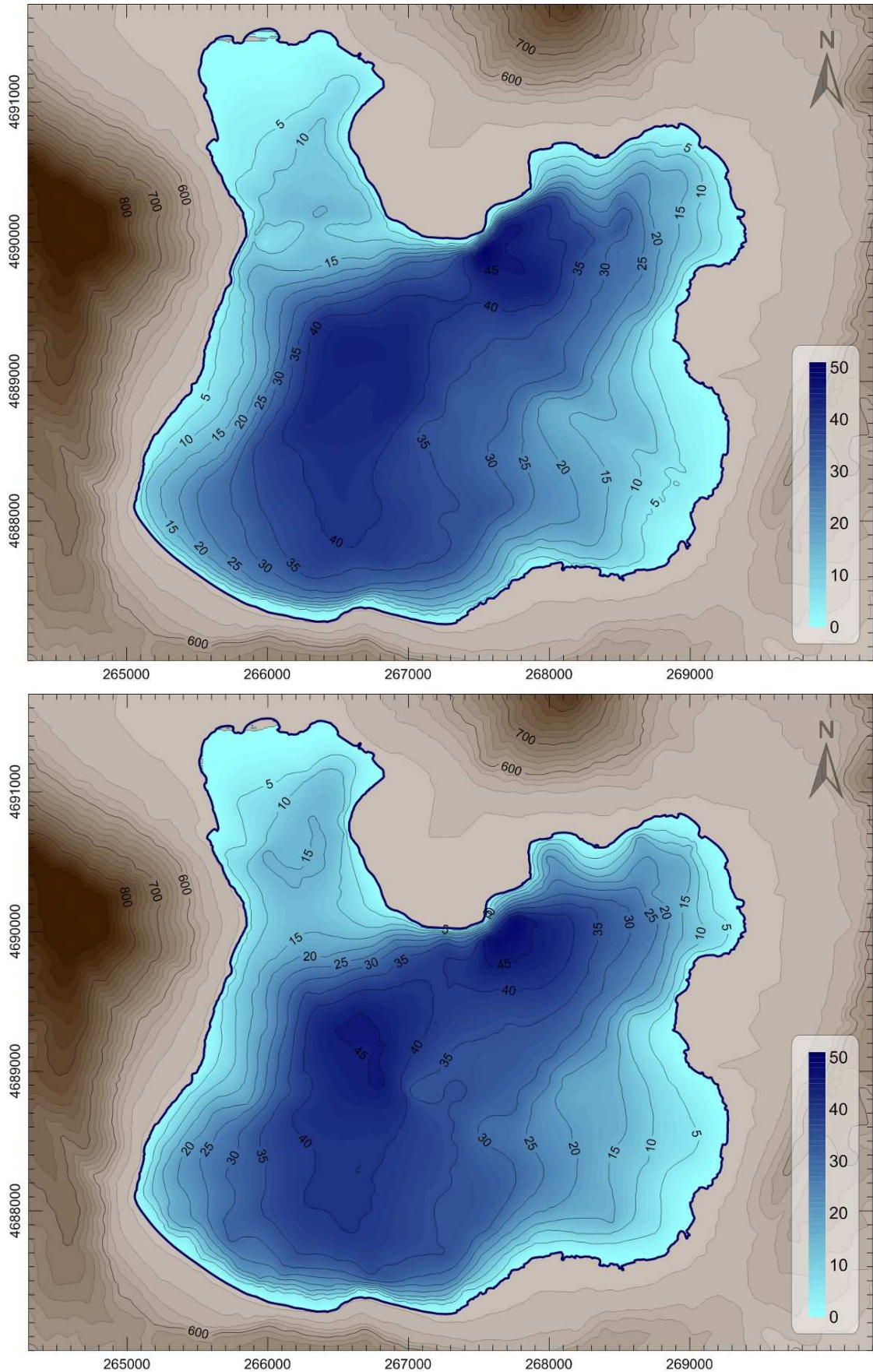


Figura 10 – In alto, batimetria ricostruita dall’Istituto italiano di Idrobiologia (modif. da Barbanti, 1968); in basso, quella risultante dallo studio dell’Università della Tuscia (modif. da Leone, 2001)

2.4 Inquadramento idrogeologico e bilancio

Con riferimento allo schema idrogeologico dell'Italia centrale (Boni et al., 1986), l'area Cimino-Vicana è caratterizzata dalla prevalenza dei complessi delle piroclastiti e di quello delle lave e delle ignimbriti litoidi, rispettivamente identificati con i numeri 8 e 9 riportati in Figura 11, modificata a partire dalla carta idrogeologica della regione Lazio (Boni et al., 1988).

Segue una breve descrizione dei suddetti complessi idrogeologici:

- **8** – Complesso delle piroclastiti: prodotti piroclastici indifferenziati (tufi scoriacei, tufi cineritici e colate piroclastiche, Pliocene-Pleistocene) con spessori variabili da pochi metri a un migliaio di metri, dotati nell'insieme di buona permeabilità e capacità d'immagazzinamento e contenenti falde di notevole importanza regionale; come in ogni edificio vulcanico laziale, una falda molto estesa alimenta il lago principale, che occupa la depressione centrale, nonché numerose sorgenti e tutti i corsi d'acqua perenni che solcano le pendici degli apparati. Sopra la falda basale si possono trovare falde sospese, generalmente di limitata estensione. La qualità delle acque è generalmente buona per ridotto contenuto salino, salvo la presenza localizzata di venute di acque molto mineralizzate, con concentrazione anomala di particolari elementi, prodotte da residua attività idrotermale. Le piroclastiti del Lazio assorbono in media 300 mm di pioggia.
- **9** - Complesso delle lave e delle ignimbriti litoidi: colate laviche e ignimbriti litoidi intercalate a vari livelli del complesso piroclastico (Pliocene-Pleistocene): rocce dure e compatte di spessore molto variabile, permeabili per fessurazione e che, nel saturo, contengono falde molto produttive con acque di buona qualità.

Di minore importanza, per estensione, all'interno o in prossimità dell'area di interesse (con riferimento alla numerazione di Figura 11), risultano essere:

- **1** - Complesso di copertura recente: suoli e paleosuoli, terre rosse, coperture eluviali, tufi pedogenizzati e, più genericamente, prodotti di alterazione del substrato sedimentario o depositi di colmamento di depressioni, in aree carsiche o vulcaniche (Olocene). Di spessore sempre limitato, da qualche metro a poche decine di metri, possono contenere esigue falde locali di potenzialità limitata.
- **14** - Complesso dei flysch argilloso-marnosi con intercalazioni litoidi: successioni, generalmente caotiche, di argille e marne con intercalazioni di arenarie e calcari marnosi (Cretacico-Miocene); diffuso nei monti della Tolfa e nella valle Latina, con spessori molto variabili; i terreni, poco permeabili, sono poverissimi di acque sotterranee; esigue falde locali si possono trovare nelle intercalazioni litoidi fessurate.
- **5** - Complesso dei travertini: travertini di prevalente origine idrotermale, generalmente intercalati a depositi alluvionali e lacustri (Pleistocene-Olocene); spessore massimo indicativo di un centinaio di metri, generalmente molto permeabili e porosi; quando isolati contengono falde molto produttive perché ben rialimentate. Le acque contenute nei travertini hanno notevole durezza ed elevato contenuto in solfati, a causa di residui fenomeni idrotermali (qualità delle acque scadente).

Sintetizzando quanto riportato in letteratura e illustrato in cartografia, il locale acquifero di importanza regionale è impostato nelle vulcaniti indifferenziate, spesse anche centinaia di metri, tamponate al letto da una articolata coltre sedimentaria prevulcanica basso-trasmissiva

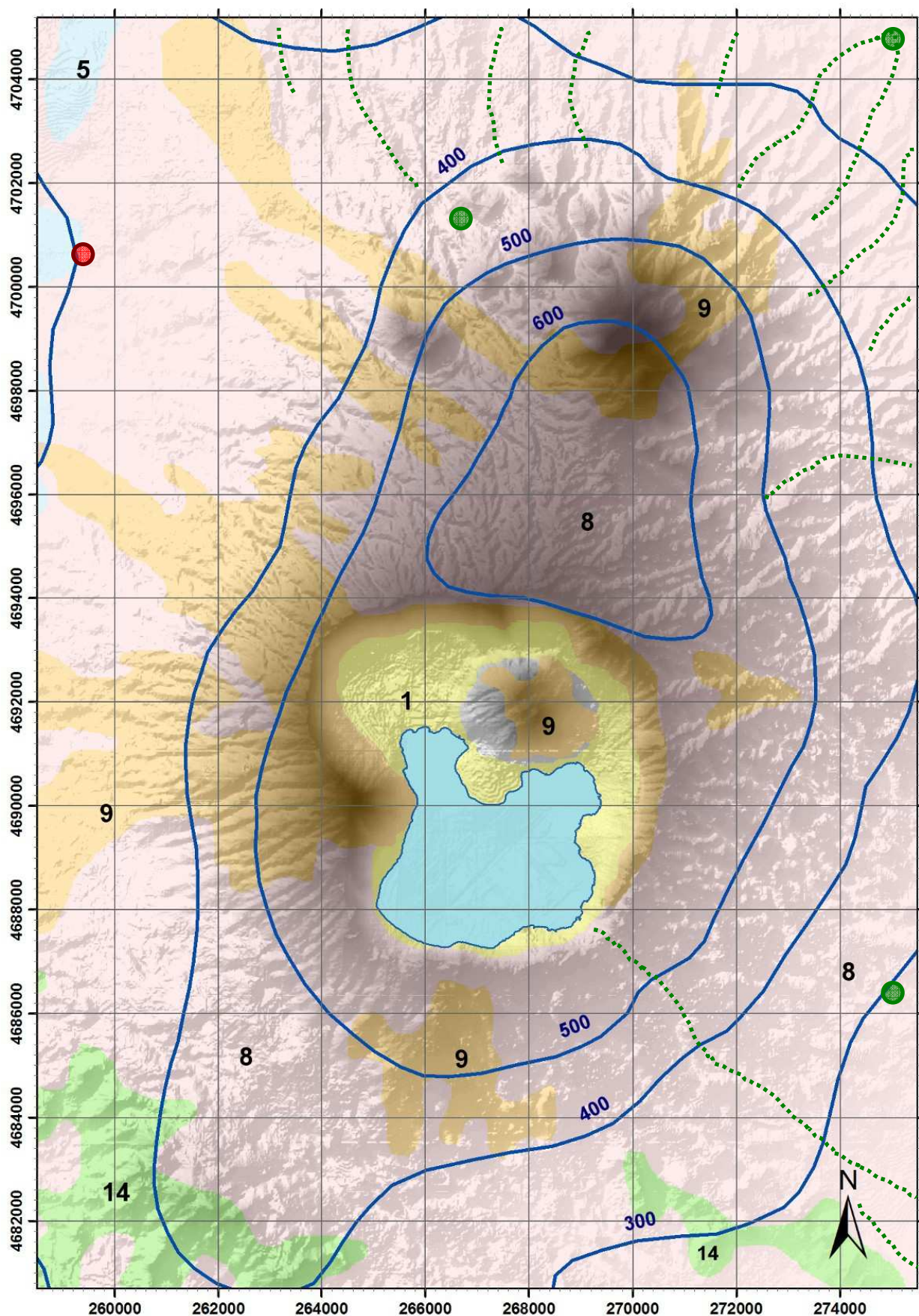


Figura 11– Stralci scalato della carta idrogeologica del territorio della regione Lazio (modificato da Boni et al., 1988); passo isopieze 100 m, coordinate in m (UTM 33, ED50), reticolo con maglia 2 km

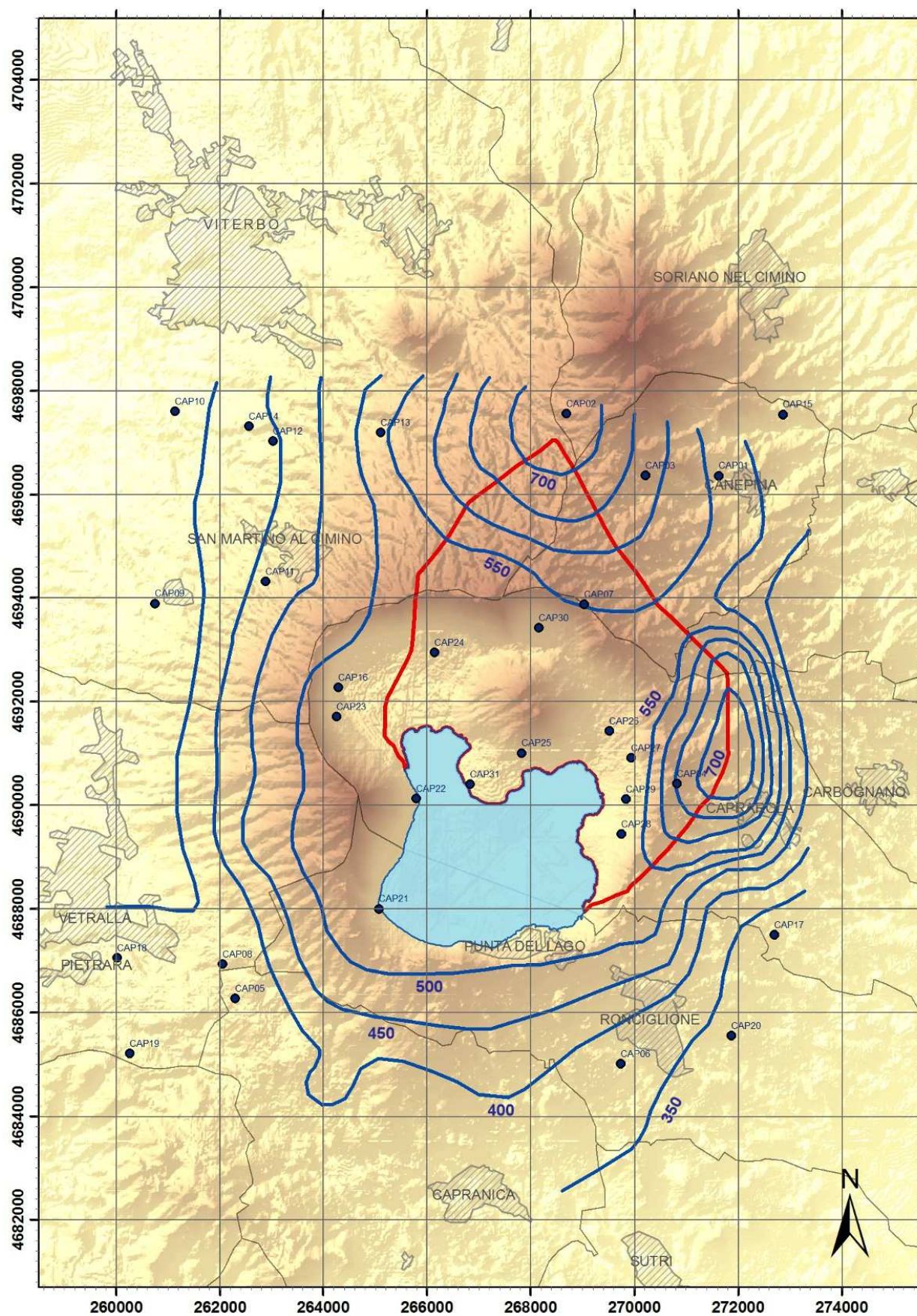


Figura 12 – Ricostruzione della piezometria di luglio 2006 nell’area Cimino-Vicana (modificata da Capelli et al., 2007); passo isopiezze 50 m, coordinate in m (UTM 33, ED50), reticolo con maglia 2 km

rappresentata dai sedimenti silicoclastici cenozoici e dai depositi marini plio-pleistocenici. Esse assorbono in media ogni anno circa 300 mm di pioggia.

La ricostruzione della circolazione idrica sotterranea del bacino idrogeologico del lago di Vico è schematizzata sempre in Figura 11 tramite isopieze di colore blu e passo 100 m; è evidente la presenza di un'area di alimentazione a Nord del lago, in continuità con le acque dello stesso, che imposta un sistema di deflusso sotterraneo sostanzialmente di tipo assiale, verso il bacino del fiume Tevere ad Est e verso il bacino del fiume Marta ad Ovest, con risorgenze delle acque in forma sia puntuale (rappresentate in mappa da cerchi colorati) che lineari (rappresentata in mappa da curve tratteggiate verdi).

Lo studio idrogeologico più recente e di maggior dettaglio (Capelli et al., 2007) propone una ricostruzione piezometrica (Figura 12) basata sull'interpolazione oltre 30 misure di livello in pozzi e piezometri della zona, effettuate nel luglio 2006, e conferma sostanzialmente l'andamento riportato nella mappa regionale, salvo la definizione di un'ulteriore zona di alimentazione della falda, da Est rispetto al lago, a Nord dell'abitato di Caprarola; sulla base della morfologia della superficie satura si è individuato il bacino idrogeologico relativo al lago, delimitato in Figura 12 dalla linea continua rossa.

La depressione calderica è colmata da alcune decine di metri di sedimenti lacustri ai cui margini, in corrispondenza dei limiti dello specchio d'acqua, si sovrappongono e/o interdigitano depositi detritici e di versante (complesso 1 di Figura 11); tali formazioni sembrano ospitare falde minori che alimentano il lago, o ne sono alimentate, in funzione del gradiente imposto dalla quota della superficie del lago.

La ricarica del bacino lacustre, tuttavia, avverrebbe essenzialmente per il trabocco della falda regionale al di sopra dei depositi lacustri, secondo una direttrice di flusso che si origina in corrispondenza del Monte Cimino e dello spartiacque nord-orientale.

Nello studio più recente (Capelli et al. 2007) si tende ad escludere per il lago di Vico una ricarica dal basso per drenance da acquiferi in pressione posti al di sotto di esso, a differenza di altri laghi vulcanici del Lazio; le perdite dal bacino lacustre, secondo gli stessi autori, prescindendo dalle portate dell'emissario e dall'evaporazione, avverrebbero per trabocco al di sopra dei sedimenti lacustri, verso est nel bacino del Treia e verso ovest in quello del Marta, e in misura minore per percolazione attraverso questi stessi sedimenti.

Come è noto fin dai tempi degli Etruschi, nell'area cimino-vicana sono presenti numerose manifestazioni idrotermali, ovvero di venute di acqua caratterizzate da temperatura > 20 °C, elevata salinità, alta concentrazione di ione solfato, sovrassaturazione in carbonato di calcio ed elevate percentuali di CO₂ disciolta; le più importanti di tali manifestazioni sono elencate in Tabella 6 e rappresentate (circoletti gialli) in Figura 13; nella stessa figura sono altresì evidenziate (triangoli azzurri) le ubicazioni di sorgenti di origine superficiale, caratterizzate da una temperatura minore di 20 °C, assenza di gas disciolti e salinità molto bassa.

La letteratura sull'idrogeologia cimino-vicana attribuisce l'alimentazione di tale fenomeni all'acquifero profondo, ospitato in rocce anidritico carbonatiche mesozoiche, caratterizzato da un anomalo gradiente geotermico, presente al di sotto dell'acquifero superficiale impostato nelle vulcaniti; dalla composizione chimica delle acque provenienti dalle diverse sorgenti si evince che i due acquiferi non sono generalmente comunicanti tra di loro poiché separati da terreni impermeabili (depositi pliocenici e complesso alloctono flyschoidi).

Le sorgenti termali situate ad ovest dell'abitato di Viterbo sono caratterizzate da acque a maggiore termalità, provenienti direttamente dall'acquifero profondo attraverso fratture legate alla tettonica distensiva plio-quadernaria; sul margine orientale, invece, si rilevano sorgenti a minore termalità, con acque mediate dall'acquifero superficiale.

Una venuta idrotermale minore localizzata all'interno della caldera, al margine occidentale del perimetro del lago presso il Centro Studi Fogliano, conferma che anche l'area del lago di Vico è direttamente interessata dal fenomeno di risalita idrotermale.

Tabella 6 – Elenco delle principali sorgenti dell'area cimino-vicana (modif. da Cimarelli et al., 2008)

ID	Tipologia sorgente/punto	Sito	T [°C]	X [m]	Y [m]
4	Acque profonde, T > 20 °C	Le Zitelle	62	257931	4702328
3	Acque profonde, T > 20 °C	Bullicame	57	258303	4702080
2	Acque profonde, T > 20 °C	Bullicame	39	259247	4701509
8	Acque profonde, T > 20 °C	Terme	57	258353	4700690
9	Acque profonde, T > 20 °C	Stabilimento INPS	55	258775	4700590
11	Acque profonde, T > 20 °C	P. Diavolo	33	258105	4700019
16	Acque profonde, T > 20 °C	Il Masso	59	258055	4695626
5	Acque profonde, T > 20 °C	C.ma Cale	46	259023	4702973
19	Acque profonde, T > 20 °C	Bagnaccio	43	259395	4706250
43	Acque profonde, T > 20 °C	Mola Bassano	23	267751	4679265
25	Acque profonde, T > 20 °C	Bagno Orte	23	283595	4704353
7	Acque superficiali, T < 20 °C	Fontanile Boia	17	260364	4701385
13	Acque superficiali, T < 20 °C	P. Diavolo 2	18	258154	4699498
15	Acque superficiali, T < 20 °C	Asinello	17	258924	4699002
17	Acque superficiali, T < 20 °C	Sorgente Viterbo	14	262622	4700168
22	Acque superficiali, T < 20 °C	Acqua Rossa	19	263863	4708484
21	Acque superficiali, T < 20 °C	Edifizio	20	263044	4711413
36	Acque superficiali, T < 20 °C	F.te Casoli	13	273867	4707813
37	Acque superficiali, T < 20 °C	F.so Casoli	12	274661	4707813
45	Acque superficiali, T < 20 °C	Pozzo Noce	14	260165	4687365
44	Acque superficiali, T < 20 °C	Lago di Vico	14	265651	4688035
42	Acque superficiali, T < 20 °C	T. Nepi	12	277605	4679169
38	Acque superficiali, T < 20 °C	Sorgente Nepi	20	280484	4679814
40	Acque superficiali, T < 20 °C	T. Tre Archi	11	280534	4680460
33	Acque superficiali, T < 20 °C	Tevere	14	275242	4717143
23	Acque profonde, T < 20 °C	Stabilimento CO2	19	262573	4707813
20	Acque profonde, T < 20 °C	Solfatarà	19	263541	4711437
41	Acque profonde, T < 20 °C	Solforata Nepi	10	276488	4679219

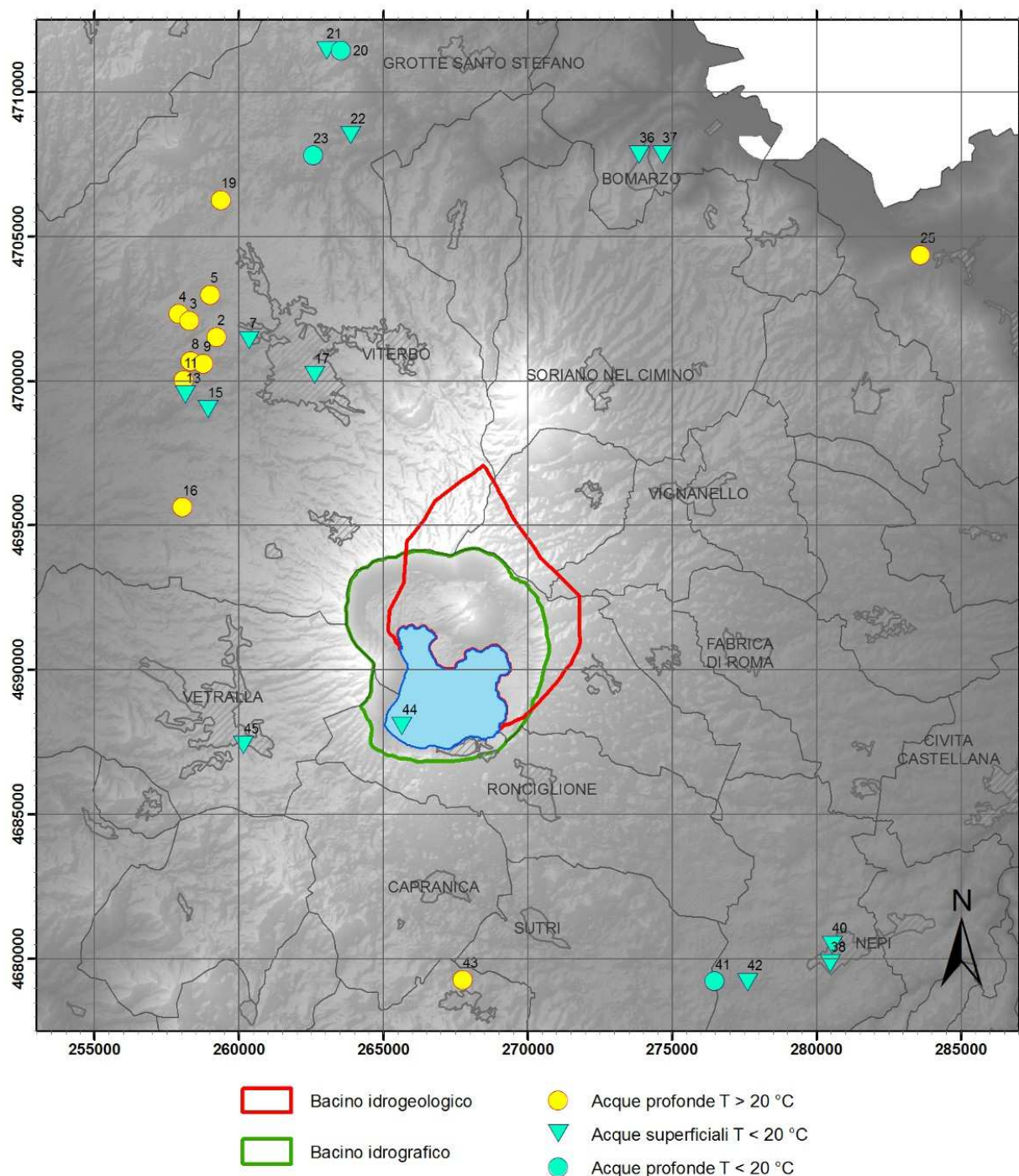


Figura 13 – Ubicazione e identificativo delle principali sorgenti idrotermali (e non) dell'area Cimino-Vicana (modificata da Cimarelli et al., 2008); coordinate in m (UTM33 ED50), reticolo a maglia 5 km

In diverse fonti di letteratura consultate sono proposti bilanci idrogeologici del bacino oggetto del piano, più o meno dettagliati e a scala variabile; nello studio più recente e approfondito (Capelli et al., 2007), in particolare, viene descritta una procedura di calcolo del bilancio idrico distribuito a scala mensile nell'intervallo marzo 2005 – febbraio 2007, applicata ai bacini idrografico e idrogeologico del lago, caratterizzata da una buona risoluzione spaziale (dimensione delle maglie della griglia di calcolo pari a 250 m).

Sintetizzando i risultati del suddetto lavoro, è stato possibile stimare gli afflussi totali medi (1164 l/s) nel biennio di osservazione sommando i seguenti tre contributi calcolati:

- afflusso meteorico (precipitazioni dirette sullo specchio d'acqua): 428 l/s;
- apporto di acque sotterranee (per infiltrazione dal bacino idrogeologico, poco variabile nel corso dell'anno): 566 l/s;
- apporto per ruscellamento dal bacino idrografico (molto variabili nel corso dell'anno, generalmente trascurabili tra aprile e settembre): 170 l/s

Tenuto conto dei seguenti deflussi noti:

- deflusso dall'emissario, stimato sulla base di osservazioni degli autori (1988-2003) all'incile o in diversi punti del Rio Vicano: compreso tra 30 l/s e 150 l/s;
- prelievi diretti dal lago, effettuati dalle prese di due acquedotti comunali e, in misura minore, da tre soggetti privati: 49 l/s;
- prelievi dalla falda direttamente connessa con il lago, all'interno della caldera, stimati sulla base del fabbisogno irriguo medio (115 pozzi denunciati per una portata richiesta in concessione di oltre 200 l/s): 160 l/s;
- evaporazione: 403 l/s;

è infine possibile stimare il deflusso sotterraneo medio dal lago, come differenza tra gli afflussi e i deflussi totali medi, ottenendo un valore nell'ordine dei 400 l/s.

2.5 Copertura e uso del suolo

Al fine di valutare l'uso del suolo all'interno del bacino oggetto di studio sono state acquisite dalla Regione Lazio, confrontate ed elaborate, sia le più recenti ortofoto disponibili⁶, sia la Carta dell'Uso del Suolo pubblicata nel 2003⁷; la carta, in formato shapefile, prevede 72 classi di utilizzo individuate in base alle definizioni del Progetto CORINE Land Cover ma con una migliore densità informativa (unità minima cartografata di un ettaro).

Come illustrato in Figura 14, è possibile distinguere, dal basso verso l'alto, lo specchio lacustre con il canneto che lo circonda quasi interamente, la zona umida in corrispondenza della località Pantanacce, i prati-pascoli naturali, i seminativi, i coltivi a nocciolo; seguono il bosco ceduo e d'alto fusto con il cerreto e la faggeta, localizzati nelle porzioni più elevate e/o acclivi delle pareti interne della caldera.

Sulla riva meridionale del lago sono bene evidenziati i limiti dell'insediamento residenziale in località Punta del lago e di quello produttivo, ormai dismesso, del Magazzino Materiali difesa NBC, entrambi all'interno territorio comunale di Ronciglione.

Si sottolinea che il suddetto insediamento produttivo risulta, al momento della redazione del presente documento, dismesso e oggetto di procedura di bonifica (fase di caratterizzazione) ai sensi dell'Art. 242 del D.Lgs. 152/2006.

In Tabella 7 si riportano gli identificativi e le descrizioni delle categorie d'uso del suolo presenti all'interno del bacino, nonché le estensioni minime/massime rilevate e il relativo coefficiente di copertura (CDC, %), calcolato come rapporto tra la superficie totale della categoria e la superficie totale del bacino idrografico.

A conferma della forte vocazione naturalistica del territorio in esame, come si evince dai valori di CDC tabulati e rappresentati in Figura 15, se si esclude lo specchio d'acqua (che occupa da solo circa il 30% del bacino idrografico), il suolo emerso interno alla caldera è in prevalenza occupato da boschi di latifoglie (circa 47% dell'emerso) e, in misura minore, da cespuglieti e arbusteti (5%); considerate anche paludi interne (1%) e le spiagge (0.5%), il territorio non interessato da attività umana costituisce oltre il 53% del suolo.

L'attività agricola, che interessa il 44% del restante territorio, è monopolizzata (37% dell'emerso, pari all'85% dell'agricolo) dalla coltivazione della rinomata nocciola gentile romana.

L'unico insediamento residenziale censito (in località Punta del Lago, nel comune di Ronciglione) è costituito da un nucleo concentrato di abitazioni di pregio relativamente nuove, presidiate stagionalmente, dotato di porticciolo e viabilità essenziale ma privo di servizi commerciali rilevanti; completano il quadro antropico poche strutture ricettive (campeggi, stabilimenti balneari, agriturismi, maneggi) a basso impatto ambientale.

⁶ unione/overlay degli elementi 355020, 355030, 355060, 355070, 355100, 355110 dell'Ortofoto 2005 della regione Lazio (volo 2002/2003)

⁷ realizzata tramite fotointerpretazione delle ortofoto Terraitaly ("it2000", 1998-99) e delle immagini satellitari Landsat 7 ETM +, rilevate in doppia copertura estiva ed invernale negli anni 2001-2002

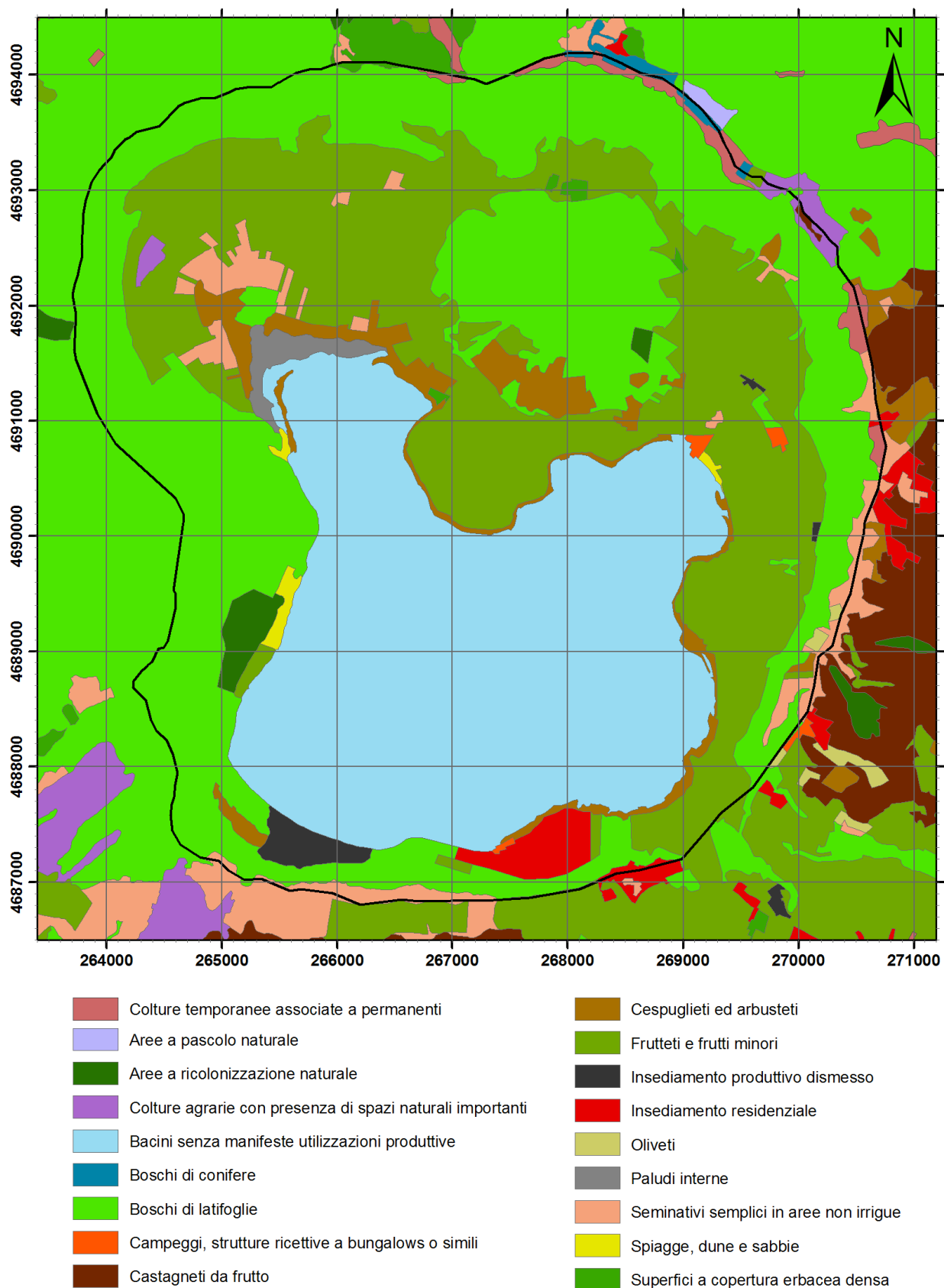


Figura 14 – Utilizzo del suolo all'interno del bacino idrografico del lago di Vico; elaborazione basata sulla Carta dell'Uso del Suolo della Regione Lazio del 2003; coordinate in m (UTM 33, ED50), reticolo con maglia da 1 km

Tabella 7 – Identificativo, descrizione e coefficiente di copertura del suolo (CDC) per ognuna delle classi di utilizzo presenti all'interno del bacino idrografico del lago di Vico, come rilevabile sulla base della Carta d'Uso del Suolo della Regione Lazio

ID	Descrizione	Area [ha]			CDC [%]
		Minima	Massima	Totale	
11	Insedimento residenziale	42.87	42.87	42.87	1.04
12	Insedimento produttivo	28.11	28.11	28.11	0.68
222	Frutteti e frutti minori	0.05	1044.45	1082.53	26.28
223	Oliveti	0.04	2.21	3.52	0.09
231	Superfici a copertura erbacea densa	1.13	3.52	10.16	0.25
241	Colture temporanee associate a permanenti	1.89	17.84	31.16	0.76
243	Aree preval. occupate da coltura agraria	5.86	7.92	13.78	0.33
311	Boschi di latifoglie	1.62	1058.14	1353.59	32.87
312	Boschi di conifere	0.48	2.76	5.57	0.14
322	Cespuglieti ed arbusteti	0.00	42.77	146.88	3.57
331	Spiagge, dune e sabbie	2.11	8.53	12.86	0.31
411	Paludi interne	28.22	28.22	28.22	0.69
1421	Campeggi, strutture ricett. a bungalows o simili	1.07	2.93	6.52	0.16
2111	Seminativi semplici in aree non irrigue	1.05	26.83	101.69	2.47
2242	Castagneti da frutto	1.59	1.59	1.59	0.04
3241	Aree a ricolonizzazione naturale	0.02	26.70	30.59	0.74
5121	Bacini senza manifeste utilizzazioni produttive	1218.93	1218.93	1218.93	29.60

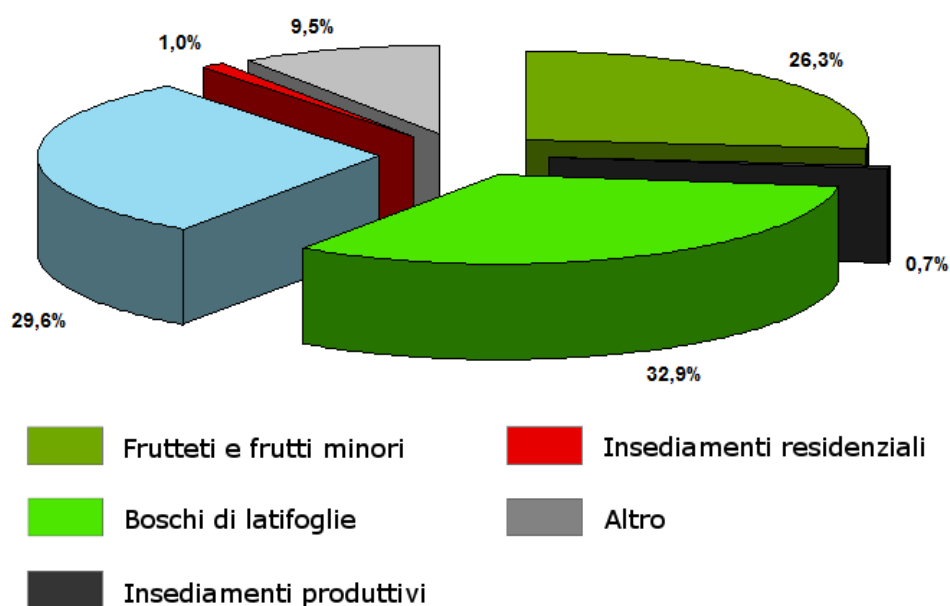


Figura 15 – Ripartizione del coefficiente di copertura del suolo all'interno del bacino del Lago di Vico tra gli utilizzi principali definiti dalla Carta dell'Uso del Suolo della Regione Lazio del 2003

3 RACCOLTA E SISTEMATIZZAZIONE DEI DATI ESISTENTI

Come previsto nell'allegato 2 al Titolo V della parte quarta del D.Lgs. 152/2006, "Criteri generali per la caratterizzazione dei siti contaminati", per la redazione del Modello Concettuale Preliminare *devono essere considerate le eventuali indagini condotte nelle varie matrici ambientali nel corso della normale gestione del sito, prima della attuazione del piano di indagini.*

Indipendentemente dalla procedura di bonifica ex art. 242 D.Lgs. 152/2006 nella quale rientra il presente piano della caratterizzazione, L'ARPA Lazio svolge normalmente, sulla base degli indirizzi della programmazione regionale, attività tecnico-scientifica a supporto dell'azione amministrativa ed istituzionale di Enti Locali, nonché attività di monitoraggio delle matrici ambientali ritenute fondamentali ai fini della prevenzione primaria.

Alcune peculiarità ambientali del bacino del lago di Vico, sono già state sottoposte, o continuano ad esserlo (da prima dell'attivazione della procedura ex art. 242), ad attività di monitoraggio svolte dalla struttura tecnica provinciale di ARPA Lazio, sia in forma routinaria che straordinaria.

In Tabella 8 sono riportati i riferimenti e le caratteristiche delle attività di monitoraggio di routine, dettagliate nel paragrafo 3.1; nel successivo paragrafo (3.2) sono invece descritte le attività di monitoraggio straordinarie svolte da ARPA Lazio su matrici ambientali appartenenti al bacino oggetto di studio.

Tutti i dati raccolti e di seguito descritti sono stati integrati come layer vettoriali o raster nel Sistema Informativo Territoriale implementato a supporto della caratterizzazione del bacino.

Tabella 8 – Attività di monitoraggio routinarie svolte dall'ARPA Lazio

Matrice	Riferimento normativo	Parametri determinati	Frequenza
Acque superficiali	D.Lgs. 152/2006 parte III, All. 2 Sezione A - "Caratteristiche di qualità per acque superficiali destinate alla produzione di acqua potabile" - D.G.R. 237/2004	Parametri chimico-fisici di base (in campo) Metalli e metalloidi IPA e aromatici Fenoli Alifatici alogenati Fitofarmaci Microbiologia [SET 1A]	Mensile
		Nutrienti (fosfati, nitrati) [SET 1B]	Bimestrale
	D.Lgs.152,/2006 parte III, All. 2 sezione B - "Qualità delle acque idonee alla vita dei pesci salmonidi e ciprinidi" - D.G.R. 237/2004	Parametri chimico-fisici di base (in campo) Metalli e metalloidi IPA e aromatici Alifatici alogenati Fitofarmaci [SET 2]	Mensile
	D.Lgs.152/2006 parte III, All. 1 - "Monitoraggio e classificazione delle acque in funzione degli obiettivi di qualità ambientale" - D.G.R. 236/2004	Parametri chimico-fisici di base (in campo) Metalli e metalloidi IPA e aromatici Alifatici alogenati Fitofarmaci Elementi biologici [SET 3A]	Mensile
		Parametri chimico-fisici di base (in campo) Nutrienti (fosfati, nitrati) [SET 3B]	Bimestrale
	D.Lgs. 116/2008 D.R. 298/2010 D.P.R. Lazio 128/2011 "Balneazione"	Parametri meteo-marini Parametri microbiologici [SET 4]	Mensile (da aprile a settembre)
Acque sotterranee	D.Lgs. 152/2006 parte III, All. 1 - "Monitoraggio e classificazione delle acque in funzione degli obiettivi di qualità ambientale" - D.G.R. 355/2003	Parametri chimico-fisici di base e di campo Metalli e metalloidi IPA e aromatici Alifatici alogenati Fitosanitari e biocidi [SET 5]	Semestrale
	D.Lgs. 152/2006 parte III, All. 7 sezione B - "Zone vulnerabili da prodotti fitosanitari" Nota ARPA Lazio, 2004	Parametri chimici e biologici di base [SET 6A] Fitosanitari e biocidi [SET 6B]	Mensile (da marzo ad agosto) + ottobre e dicembre

3.1 Monitoraggi ARPA di routine

3.1.1 Qualità delle acque superficiali destinate alla produzione idropotabile

Dal 2011 ARPA Viterbo effettua attività di controllo e monitoraggio delle acque superficiali destinate a produzione idropotabile, individuate con D.G.R. Lazio 37/2004, ai sensi della **sezione A** (*“Criteri generali e metodologie per il rilevamento delle caratteristiche qualitative e per la classificazione delle acque superficiali destinate alla produzione di acqua potabile”*) dell’**Allegato 2** (*“Criteri per la classificazione dei corpi idrici a destinazione funzionale”*) alla **Parte Terza** (*“Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall’inquinamento e di gestione delle risorse idriche”*) del D. Lgs. 152/2006.

L’attività consiste nel prelievo a cadenza mensile di campioni d’acqua dalle zone di presa di tre captazioni ad uso idropotabile, due delle quali sono ubicate all’interno dello specchio lacustre, nella sua porzione sudorientale, e nella determinazione dei parametri indicati dalla normativa (Tabella 1/A dell’Allegato 2 alla parte Terza del D.Lgs. 152/2006), riportati in Tabella 10.

I prelievi dal lago vengono effettuati mediante bottiglia di Niskin, a circa 8 m di profondità.

Tabella 9 – Punti di monitoraggio della qualità delle acque superficiali per la produzione idropotabile

Codice		Località/Ubicazione	Comune	Coordinate (ED50 fuso 33)	
ARPA	Regione			X [m]	Y [m]
17593	VI.RO	Casilino/Abboccatore	Ronciglione	268500	4688194
17594	VI.CA	S. Lucia / S. Lucia	Caprarola	268788	4688478

Tabella 10 – Parametri chimico-fisici (SET 1A) e biologici (SET 1B) determinati per la definizione della qualità delle acque superficiali destinate alla produzione idropotabile

N° Parametro	Parametro	UdM	SET
1	pH	Unità pH	1A
2	Colore (dopo filtrazione semplice)	mg/L scala pt	1A
3	Totale materie in sospensione	mg/L MES	1A
4	Temperatura	°C	1A
5	Conducibilità	µS/cm @ 20 °C	1A
6	Odore	Fattore diluizione	1A
7	Nitrati	mg/L NO ₃	1A
8	Fluoruri	mg/L F	1A
10	Ferro disciolto	mg/L Fe	1A
11	Manganese	mg/L Mn	1A
12	Rame	mg/L Cu	1A
13	Zinco	mg/L Zn	1A
14	Boro	mg/L B	1A
19	Arsenico	mg/L As	1A
20	Cadmio	mg/L Cd	1A

N° Parametro	Parametro	UdM	SET
21	Cromo Totale	mg/L Cr	1A
22	Piombo	mg/L Pb	1A
23	Selenio	mg/L Se	1A
24	Mercurio	mg/L Hg	1A
25	Bario	mg/L Ba	1A
26	Cianuro	mg/L CN	1A
27	Solfati	mg/L SO ₄	1A
28	Cloruri	mg/L Cl	1A
29	Tensioattivi (che reagiscono al blu metil.)	mg/L solfato laurile	1A
30	Fosfati	mg/L P ₂ O ₅	1A
31	Fenoli (Indice fenoli)	mg/L C ₆ H ₅ OH	1A
32	Idrocarburi disciolti o emulsionati	mg/L	1A
33	Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)	mg/L	1A
34	Antiparassitari Tot (parath. HCH, dieldrine)	mg/L	1A
35	Domanda chimica di ossigeno (COD)	mg/L O ₂	1A
36	Tasso di saturazione Ossigeno disciolto	% O ₂	1A
37	Domanda biochimica di Ossigeno (BOD5)	mg/L O ₂	1A
38	Azoto Kjeldhal (tranne NO ₂ e NO ₃)	mg/L N	1A
39	Ammoniaca	mg/L NH ₄	1A
43	Coliformi totali	/100 mL	1B
44	Coliformi fecali	/100 mL	1B
45	Streptococchi fecali	/100 mL	1B

Sulla base delle serie storiche di dati disponibili e delle indicazioni normative (Art. 80 D.Lgs 152/2006), le acque dolci superficiali del lago di Vico, utilizzate anche per produzione idropotabile, sono attualmente classificate come appartenenti alla categoria A2, da sottoporre a “trattamento fisico e chimico normale e disinfezione”.

3.1.2 Qualità delle acque dolci superficiali idonee alla vita dei pesci

L'attività consiste nel prelievo a cadenza mensile di campioni d'acqua superficiale (a circa 50 cm dal pelo libero) in corrispondenza di tre punti di monitoraggio, individuati con D.G.R. Lazio 37/2004, uno dei quali ubicato nella porzione sud-orientale dello specchio lacustre (Tabella 11), e nella successiva determinazione dei parametri elencati nella Tabella 1/B della **sezione B** ("Criteri generali e metodologie per il rilevamento delle caratteristiche qualitative, per la classificazione e il calcolo della conformità delle acque dolci superficiali idonee alla vita dei pesci salmonicoli e ciprinicoli") dell'**Allegato 2** ("Criteri per la classificazione dei corpi idrici a destinazione funzionale") alla **Parte Terza** del D. Lgs. 152/2006.

La classificazione regionale basata sui dati pregressi riporta l'idoneità delle acque del lago di Vico alla vita dei pesci salmonicoli (requisiti più stringenti rispetto ai ciprinidi).

Tabella 11 – Punto di monitoraggio della qualità delle acque superficiali idonee alla vita dei pesci

Codice		Località/Ubicazione	Comune	Coordinate (ED50 fuso 33)	
ARPA	Regione			X [m]	Y [m]
17721	56.70	Presa acquedottistica	Caprarola	268788	4688478

Tabella 12 – Parametri chimico-fisici (SET 2) determinati per la definizione della qualità delle acque dolci superficiali idonee alla vita dei pesci

N° Parametro	Parametro	UdM	SET
1	Temperatura (aumento, massimo, periodi)	Δ°C , °C, °C	2
2	Ossigeno	mg/L O ₂	2
3	Concentrazione di ioni idrogeno	Unità pH	2
4	Materiale in sospensione	mg/L	2
5	Domanda biochimica di Ossigeno (BOD5)	mg/L O ₂	2
6	Fosforo totale	mg/L P	2
7	Nitriti	mg/L NO ₂	2
8	Composti fenolici	mg/L C ₆ H ₅ OH	2
9	Idrocarburi di origine petrolifera	mg/L	2
10	Ammoniaca non ionizzata	mg/L NH ₃	2
11	Ammoniaca totale	mg/L NH ₄	2
12	Cloro residuo totale	mg/ L HOCl	2
13	Zinco totale	mg/L Zn	2
14	Rame	mg/L Cu	2
15	Tensioattivi (anionici)	mg/L MBAS	2
16	Arsenico	mg/L As	2
17	Cadmio totale	mg/L Cd	2
18	Cromo	mg/L Cr	2
19	Mercurio totale	mg/L Hg	2
20	Nichel	mg/L Ni	2
21	Piombo	mg/L Pb	2

3.1.3 Obiettivi di qualità ambientale per le acque superficiali

Su tutti i laghi della Regione e su tutti i corpi idrici di transizione (laghi costieri) l'ARPA Lazio effettua da circa dieci anni il monitoraggio di indicatori biologici e chimico-fisici per la valutazione degli obiettivi di qualità ambientale, con le modalità (set e metodiche analitici, frequenza temporale, valori di riferimento) definiti inizialmente dal **D.Lgs. 152/1999** (Allegato 1), successivamente dal **D.Lgs. 152/2006** (Sezione Seconda, Titolo II, della Parte Terza, in conformità al relativo Allegato 1) e, attualmente, dal **D.M. 260/2010** (Allegato 1).

Il lago di Vico, incluso tra i corpi idrici significativi regionali, è sottoposto a monitoraggio in corrispondenza di una stazione di prelievo e misura individuata con D.G.R. 236/2004, ubicata in prossimità della zona di massima profondità (Tabella 13).

Tabella 13 – Punto di prelievo per il monitoraggio in funzione degli obiettivi di qualità ambientale (coordinate indicative, come riportate nella D.G.R. 236/2004)

Codice		Ubicazione stazione	Comune	Coordinate (ED50 fuso 33)	
ARPA	Regione			X [m]	Y [m]
14831	5.34	"Centro lago"	Caprarola	267003	4689428

Relativamente alle acque del lago di Vico, si dispone pertanto delle seguenti serie di dati:

- 12 set di determinazioni chimico-fisiche su 5 livelli della colonna d'acqua nella zona di massima profondità, relative a campagne di monitoraggio semestrali definite ai sensi dell'Allegato 1 del D.Lgs. 152/1999, effettuate nel periodo compreso tra ottobre 2003 e agosto 2008; il set analitico, riportato in Tabella 14, è composto da parametri chimico-fisici di base (Tab. 10 dell'All. 1 al D.Lgs. 152/1999), e da parametri aggiuntivi organici e inorganici (Tab. 1 dell'All. 1 al D.Lgs. 152/1999); tra questi ultimi NON è compreso l'Arsenico.
- 4 set di determinazioni chimico-fisiche su 5 livelli della colonna d'acqua nella zona di massima profondità, relative a campagne di monitoraggio semestrali definite ai sensi dell'Allegato 1 del D.Lgs. 152/1999 e s.m.i., effettuate nel periodo compreso tra febbraio 2009 e aprile 2011; il set analitico è costituito sia dai parametri di Tabella 14 che da quelli aggiuntivi di Tabella 15 (tra i quali è compreso l'Arsenico).

Dalla metà del 2011 il monitoraggio dello stato chimico avviene con frequenza mensile nello stesso punto di osservazione e alle stesse profondità delle precedenti attività; il set esteso di parametri ricercati, basato sulla Tab. 1/A (elenco di priorità) e sulla 1/B dell'Allegato 1 al D.M. 260/2010 secondo le modalità definite nello stesso allegato, è riportato in Tabella 16.

I risultati delle nuove campagne di monitoraggio sono attualmente in fase di elaborazione e/o validazione.

Tabella 14 – Parametri chimico-fisici di base (BAS, da Tab. 10, All.1, D.Lgs. 152/1999), addizionali inorganici (ADD-IN, da Tab. 1 All.1 D.Lgs. 152/1999) e organici (ADD-OR) determinati da ottobre 2003 ad agosto 2008 sulla colonna d’acqua a profondità fisse (superficie, 5 m, 10 m, 20 m e fondo), frequenza semestrale; SQA-MA = standard di qualità ambientale (media annua, da D.M. 260/2010)

Tipo	Parametro	UdM	SQA-MA
BAS	Trasparenza	m	na
BAS	Temperatura (aumento, massimo, periodi)	°C	na
BAS	pH	Unità pH	na
BAS	Ossigeno disciolto	mg/L O ₂	na
BAS	Alcalinità	mg/L Ca(HCO ₃) ₂	na
BAS	Conducibilità elettrica specifica	µS/cm @ 20 °C	na
BAS	Azoto ammoniacale	mg/L	na
BAS	Azoto nitrico	mg/L	na
BAS	Azoto nitroso	µg/L	na
BAS	Ossigeno ipolimnico di saturazione	% O ₂	na
BAS	Ortofosfato	µg/L	na
BAS	Fosforo totale	µg/L	na
BAS	Clorofilla	µg/L	na
ADD-IN	Cadmio	µg/L	0.08-0.15 ⁸
ADD-IN	Cromo totale	µg/L	7
ADD-IN	Mercurio	µg/L	0.03
ADD-IN	Nichel	µg/L	20
ADD-IN	Piombo	µg/L	7.2
ADD-IN	Rame	µg/L	na
ADD-IN	Zinco	µg/L	na
ADD-OR	Aldrin	µg/L	0.01
ADD-OR	Dieldrin	µg/L	
ADD-OR	Endrin	µg/L	
ADD-OR	Isodrin	µg/L	
ADD-OR	Pp’-DDT	µg/L	0.01
ADD-OR	Esaclorobenzene	µg/L	0.005
ADD-OR	Esaclorocicloesano	µg/L	0.02
ADD-OR	Esaclorobutadiene	µg/L	0.05
ADD-OR	1,2-Dicloroetano	µg/L	10
ADD-OR	Tricloroetilene (TCE)	µg/L	10
ADD-OR	Triclorobenzene	µg/L	0.4
ADD-OR	Cloroformio	µg/L	2.5
ADD-OR	Tetracloruro di carbonio	µg/L	12
ADD-OR	Tetracloroetilene (PCE)	µg/L	10
ADD-OR	Pentaclorofenolo	µg/L	0.4

⁸ Limite variabile in funzione della classe di durezza dell’acqua

Tabella 15 – Parametri aggiuntivi determinati da febbraio 2009 sulla colonna d’acqua a profondità fisse (superficie, 5 m, 10 m, 20 m e fondo) con frequenza semestrale (oltre a quelli di Tabella 14); SQA-MA = standard di qualità ambientale (valor medio annuo, da D.M. 260/2010)

Tipo	Parametro	UdM	SQA-MA
ADD-IN	Arsenico	µg/L	10
ADD-OR	Alaclor	µg/L	0.7
ADD-OR	Prodotti fitosanitari e biocidi totali	µg/L	1
ADD-OR	Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)	µg/L	na
ADD-OR	Diuron	µg/L	0.2
ADD-OR	Isoproturon	µg/L	na
ADD-OR	Atrazina	µg/L	0.6
ADD-OR	Simazina	µg/L	1
ADD-OR	Clorfenvinfos	µg/L	0.1
ADD-OR	Clorpirifos	µg/L	0.03
ADD-OR	Trifluralin	µg/L	0.03
ADD-OR	Endosulfan	µg/L	0.005
ADD-OR	Alfaendosulfan	µg/L	na
ADD-OR	Lindano	µg/L	na
ADD-OR	Diclorometano	µg/L	20
ADD-OR	Benzene	µg/L	10
ADD-OR	Cloruro di vinile (VC)	µg/L	na

L’analisi delle determinazioni ad oggi disponibili consente comunque di riscontrare che:

- il valore della concentrazione del parametro **Arsenico**, da quando questo viene determinato (febbraio 2009), è sempre risultato compreso tra 13 e 18 µg/L (media di 15.6 µg/L su 20 campioni), a fronte di uno SQA-MA⁹ di 10 µg/L;
- nelle campagne di ottobre 2010 e aprile 2011, la concentrazione di **Atrazina** rilevata nei primi 20 m eccede in 6 campioni su 10 il relativo SQA-CMA¹⁰ di 2 µg/L.

⁹ Standard di Qualità Ambientale per acque superficiali interne, espresso come valore medio annuo, come riportato nell’Allegato 1 al D.M. 260/2010

¹⁰ Standard di Qualità Ambientale espresso come concentrazione massima ammissibile, come riportato nell’Allegato 1 al D.M. 260/2010

Tabella 16 – Parametri determinati dalla metà del 2011 sulla colonna d’acqua a profondità fisse (superficie, 5 m, 10 m, 20 m e fondo), ai sensi del D.M. 260/2010, Allegato 1, con frequenza mensile; P = sostanze prioritarie; PP = pericolose prioritarie; E = sostanze incluse nelle direttive figlie della Direttiva 74/464/CE; SQA-MA = standard di qualità ambientale (media annua da D.M. 260/2010)

N / Rif.	Tipo	Parametro	UdM	SQA-MA
1 Tab. 1/A	P	Alaclor	µg/L	0.3
2 Tab. 1/A	PP	Alcani, C10-C13, cloro	µg/L	0.4
3 Tab. 1/A	E	Antiparassitari (Ciclodiene)	µg/L	Σ = 0.01
		Aldrin	µg/L	
		Dieldrin	µg/L	
		Endrin	µg/L	
		Isodrin	µg/L	
4 Tab. 1/A	PP	Antracene	µg/L	0.1
5 Tab. 1/A	P	Atrazina	µg/L	0.6
6 Tab. 1/A	P	Benzene	µg/L	10
7 Tab. 1/A	PP	Cadmio e composti	µg/L	0.08-0.15 ¹¹
8 Tab. 1/A	P	Clorfenvinfos	µg/L	0.1
9 Tab. 1/A	P	Clorpirifos	µg/L	0.03
10 Tab. 1/A	E	DDT totale	µg/L	0.025
	E	p.p’-DDT	µg/L	0.01
11 Tab. 1/A	P	1,2-Dicloroetano	µg/L	10
12 Tab. 1/A	P	Diclorometano	µg/L	20
13 Tab. 1/A	P	Di(2-etilesilftalato)	µg/L	1.3
14 Tab. 1/A	PP	Difeniletere bromato	µg/L	0.0005
15 Tab. 1/A	p	Diuron	µg/L	0.2
16 Tab. 1/A	PP	Endosulfan	µg/L	0.005
17 Tab. 1/A	PP	Esaclorobenzene	µg/L	0.005
18 Tab. 1/A	PP	Esaclorobutadiene	µg/L	0.05
19 Tab. 1/A	PP	Esaclorocicloesano	µg/L	0.02
20 Tab. 1/A	P	Fluorantene	µg/L	0.1
21 Tab. 1/A	PP	Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)	µg/L	na
	PP	Benzo(a)pirene	µg/L	0.05
	PP	Benzo(b)fluorantene	µg/L	Σ = 0.03
	PP	Benzo(k)fluorantene	µg/L	
	PP	Benzo(g,h,i)perilene	µg/L	Σ = 0.002
	PP	Indeno(1,2,3-cd)pirene	µg/L	
22 Tab. 1/A	P	Isoproturon	µg/L	0.3
23 Tab. 1/A	PP	Mercurio e composti	µg/L	0.03
24 Tab. 1/A	P	Naftalene	µg/L	2.4
25 Tab. 1/A	P	Nichel e composti	µg/L	20
26 Tab. 1/A	PP	4-Nonilfenolo	µg/L	0.3

¹¹ Limite variabile in funzione della classe di durezza dell’acqua

N / Rif.	Tipo	Parametro	UdM	SQA-MA
27 Tab. 1/A	P	Ottifenolo (4-(1,1',3,3'-tetrametilbutil-fenolo))	µg/L	0.1
28 Tab. 1/A	PP	Pentaclorobenzene	µg/L	0.0007
29 Tab. 1/A	P	Pentaclorofenolo	µg/L	0.4
30 Tab. 1/A	P	Piombo e composti	µg/L	7.2
31 Tab. 1/A	P	Simazina	µg/L	1
32 Tab. 1/A	E	Tetracloruro di carbonio	µg/L	12
33 Tab. 1/A	E	Tetracloroetilene (PCE)	µg/L	10
34 Tab. 1/A	E	Tricloroetilene (TCE)	µg/L	10
35 Tab. 1/A	PP	Tributilstagno composti	µg/L	0.0002
36 Tab. 1/A	P	Triclorobenzeni	µg/L	0.4
37 Tab. 1/A	P	Triclorometano	µg/L	2.5
38 Tab. 1/A	P	Trifluralin	µg/L	0.03
1 Tab. 1/B	nd	Arsenico	µg/L	10

3.1.4 Qualità delle acque destinate alla balneazione

Per quanto riguarda il Lago di Vico, l'attività dell'Agenzia consiste nel prelievo e analisi di campioni d'acqua superficiale (a circa 50 cm dal pelo libero) in corrispondenza di sei punti di monitoraggio prossimi alla riva (Tabella 17), e nell'espressione di un giudizio di conformità (idoneità alla balneazione) secondo quanto previsto dalla normativa. In particolare, fino al 30 giugno 2010 si è fatto riferimento al D.P.R. 470/1982, modificato dall'art. 17 del D.Lgs. 116/2008; attualmente, il giudizio di idoneità è espresso sulla base del D.M. 30 marzo 2010, attuativo del D.Lgs. 116/2008.

Il monitoraggio è attuato nel periodo compreso tra aprile e settembre ed ha cadenza mensile su tutti i punti; i parametri ricercati sono riportati in Tabella 18.

Tabella 17 – Punti di monitoraggio per la valutazione dell'idoneità alla balneazione

Codici ARPA		Denominazione	Comune	Coordinate (ED50 fuso 33)	
Punto	Area			X [m]	Y [m]
001	IT12056015001	Lido Fogliano	Caprarola	265870	4890132
002	IT12056045001	Riva Fiorita	Ronciglione	265534	4687597
003	IT12056045002	La scaletta	Ronciglione	265922	4687425
004	IT12056045003	Sans Soucis	Ronciglione	267310	4687347
005	IT12056015002	Bella Venere	Caprarola	269043	4690727
006	IT12056045004	500 m sin. Punta Lago	Ronciglione	268094	4687709

Tabella 18 – Parametri meteo e biologici (SET4) per la valutazione dell'idoneità alla balneazione

N° Parametro	Parametro	UdM	SET
1	Temperatura (dell'aria e dell'acqua)	°C	4
2	Vento (direzione e intensità)	varie	4
3	Stato del lago (direzione e altezza onde)	varie	4
4	Corrente superficiale (intensità e direzione)	m/s, ° da N	4
5	Condizioni meteo (pioggia, copertura nubi)	varie	4
6	Escherichia Coli	UFC / 100 ml	4
7	Enterococchi intestinali	UFC / 100 ml	4

Come si evince dai dati disponibili, pubblicati sul sito di ARPA Lazio, tutte le aree monitorate nel lago di Vico sono risultate nel 2011 idonee alla balneazione.

Coerentemente con l'art. 3 del D.M. 30 marzo 2010, su due dei suddetti punti (002 e 005 nel 2011), viene effettuata ulteriore sorveglianza della proliferazione di cianobatteri, con le modalità definite nell'Allegato B dello stesso Decreto.

3.1.5 Obiettivi di qualità ambientale per le acque sotterranee

La D.G.R. 355/2003, ai sensi del D.Lgs. 152/1999 e in conformità con la Parte Terza del D.Lgs. 152/2006 (Sezione Seconda, Titolo II), ha assegnato all'ARPA Lazio l'onere del monitoraggio qualitativo delle acque sotterranee della regione, spettando ai concessionari o agli Enti Gestori il monitoraggio quantitativo; l'allegato 1 della suddetta delibera identifica sul territorio regionale 73 sorgenti captate per uso idropotabile da monitorare, di cui 23 all'interno della provincia di Viterbo.

I punti della rete di controllo più vicini all'area oggetto del presente studio, ricadenti comunque all'esterno del bacino idrografico del lago di Vico, sono elencati nella sottostante tabella.

Tabella 19 – Punti di prelievo per il monitoraggio delle acque sotterranee, come definiti nella D.G.R. 355/2003 (coordinate approssimative rilevate in loco)

Codice		Denominazione	Comune	Coordinate (ED50 fuso 33)	
ARPA	Regione			X [m]	Y [m]
13051	53	Sorgente La Concia	Capranica	267615	4682573
13053	34	Sorgente Barco	C.Castellana	275074	4686333
13069	62	Sorgente Cicella 1	Soriano	272777	4699066

L'attività dell'Agenzia consiste attualmente nel prelievo con cadenza semestrale di campioni d'acqua dai siti di monitoraggio definiti dalla D.G.R. 355/2003, e nella determinazione dei parametri base elencati in Tabella 20, nonché degli inquinanti inorganici e di quelli organici aggiuntivi elencati, rispettivamente, in Tabella 21 e in Tabella 22.

Tabella 20 – Parametri chimico-fisici di base (BAS, da Tabella 19, Allegato 1 al D.Lgs. 152/1999) determinati sui campioni di acque sotterranee con frequenza semestrale (VdS = valori di soglia)

Tipo	Parametro	UdM	VdS
BAS	Temperatura	°C	na
BAS	Durezza totale	mg/L CaCO ₃	na
BAS	Conducibilità elettrica specifica	µS/cm @ 20 °C	na
BAS	Bicarbonati	mg/L	na
BAS	Calcio	mg/L	na
BAS	Cloruri	mg/L	na
BAS	Magnesio	mg/L	na
BAS	Potassio	mg/L	na
BAS	Sodio	mg/L	na
BAS	Solfati	mg/L SO ₄	na
BAS	Ione ammonio	mg/L NH ₄	na
BAS	Ferro	mg/L	na
BAS	Manganese	mg/L	na
BAS	Nitrati	mg/L NO ₃	na

Tabella 21 – Parametri chimici aggiuntivi inorganici (ADD-IN, da Tabella 21, All. 1 D.Lgs. 152/1999) determinati sui campioni di acque sotterranee con frequenza semestrale (VdS = valori soglia)

Tipo	Parametro	UdM	VdS
ADD-IN	Alluminio	µg/L	200
ADD-IN	Antimonio	µg/L	5
ADD-IN	Argento	µg/L	10
ADD-IN	Arsenico	µg/L	10
ADD-IN	Bario	µg/L	2000
ADD-IN	Berillio	µg/L	4
ADD-IN	Boro	µg/L	1000
ADD-IN	Cadmio	µg/L	5
ADD-IN	Cianuri	µg/L	50
ADD-IN	Cromo totale	µg/L	50
ADD-IN	Cromo VI	µg/L	5
ADD-IN	Fluoruri	µg/L	1500
ADD-IN	Mercurio	µg/L	1
ADD-IN	Nichel	µg/L	20
ADD-IN	Nitriti	µg/L	500
ADD-IN	Piombo	µg/L	10
ADD-IN	Rame	µg/L	1000
ADD-IN	Selenio	µg/L	10
ADD-IN	Zinco	µg/L	3000

Tabella 22 – Parametri aggiuntivi organici (ADD-OR, da Tabella 21, All. 1 D.Lgs. 152/1999) determinati sui campioni di acque sotterranee con frequenza semestrale (VdS = valori soglia)

Tipo	Parametro	UdM	VdS
ADD-OR	Composti alifatici alogenati totali, di cui:	µg/L	10
ADD-OR	- 1,2-Dicloroetano	µg/L	2
ADD-OR	Pesticidi totali, di cui:	µg/L	0.5
ADD-OR	- Aldrin	µg/L	0.03
ADD-OR	- Dieldrin	µg/L	0.03
ADD-OR	- Eptacloro	µg/L	0.03
ADD-OR	- Eptacloro epossido	µg/L	0.03
ADD-OR	Altri pesticidi individuali	µg/L	0.1
ADD-OR	Acrilamide	µg/L	0.1
ADD-OR	Benzene	µg/L	1
ADD-OR	Cloruro di vinile	µg/L	0.5
ADD-OR	IPA totali	µg/L	0.1
ADD-OR	Benzo(a)pirene	µg/L	0.01

I risultati analitici relativi ai contaminanti sia di natura organica che inorganica evidenziano l'assenza di elementi di degrado della qualità delle acque sotterranee di alimentazione delle sorgenti. Si sottolinea tuttavia che nelle acque della sorgente La Concia, ubicata circa 4 km a valle del limite sud del bacino idrografico, sulla base delle analisi effettuate nel 2010 e nel 2011, la concentrazione di arsenico è sempre risultata compresa tra 40 e 50 µg/L, a fronte di un massimo di 4 µg/L delle acque della sorgente Cicella (6 km a monte del bacino), nello stesso periodo temporale.

Si sottolinea altresì che la quota e l'ubicazione delle suddette sorgenti rispetto alle direzioni di deflusso già descritte nel par. 2.4 non consentono considerazioni più articolate.

3.1.6 Zone vulnerabili da prodotti fitosanitari

La sezione ARPA di Viterbo effettua il monitoraggio dei corpi idrici vulnerabili da prodotti fitosanitari (acque sia sotterranee che superficiali) individuati, ai sensi dell'Allegato 7/B alla parte terza del D.Lgs. 152/2006, dal Piano Regionale approvato con D.G.R. 172/2005.

L'attività consiste nel prelievo e nell'analisi di campioni d'acqua da 9 captazioni interne al territorio provinciale, a cadenza mensile per il periodo primaverile-estivo, con l'aggiunta di un prelievo in ottobre e uno in dicembre per il periodo autunnale-invernale; un'unica captazione, il pozzo San Rocco (Tabella 23) nel comune di Caprarola, è rilevante per le finalità del presente studio, essendo ubicata sul margine della caldera, a circa 1.5 km dalla riva Est del lago di Vico.

Tabella 23 – Punto di prelievo (più vicino al lago) per il monitoraggio delle zone vulnerabili da fitofarmaci

Codice		Denominazione	Comune	Coordinate (ED50 fuso 33)	
ARPA	Regione			X [m]	Y [m]
14791	VT_ZVF10	"Pozzo San Rocco"	Caprarola	270811	4690625

Come riportato in Tabella 24, sui campioni di acqua vengono usualmente determinati 6 parametri chimici inorganici e 4 biologici di base (SET6A), più 24 principi attivi prioritari definiti nel Piano di monitoraggio regionale delle sostanze fitosanitarie (SET6B).

In relazione ai fitofarmaci determinati, sulla base dei dati relativi all'intero 2010, si può evidenziare un'isolata misura superiore ai limiti di rilevabilità, per il parametro Terbutilazina, nel campionamento del 20 maggio (2.0 µg/L a fronte di un L.R. di 0.01 µg/L).

Tabella 24 – Parametri chimico-biologici (SET 6A) e fitofarmaci specifici (SET6B) determinati per il monitoraggio dei corpi idrici vulnerabili da prodotti fitosanitari

N° Parametro	Parametro	UdM	SET
1	Nitrati	mg/L NO ₃	6A
2	Nitriti	mg/L NO ₂	6A
3	Ammoniaca	mg/L NH ₄	6A
4	Ortofosfati	mg/L PO ₄	6A
5	Calcio	mg/L Ca	6A
6	Cloruri	mg/L Cl	6A
7	Coliformi totali	u.f.c./100 mL	6A
8	Coliformi fecali	u.f.c./100 mL	6A
9	Streptococchi fecali	u.f.c./100 mL	6A
10	Escherichia coli	u.f.c./100 mL	6A
11	Alaclor	µg/L	6B
12	Alfa-Endosulfan	µg/L	6B
13	Atrazina	µg/L	6B
14	Atrazina (metaboliti)	µg/L	6B
15	Benfuracarb	µg/L	6B
16	DDD	µg/L	6B
17	Dieldrin	µg/L	6B
18	Endosulfan	µg/L	6B
19	Eptacloro Eossido	µg/L	6B
20	Lindano	µg/L	6B
21	Linuron	µg/L	6B
22	Metalaxyl	µg/L	6B
23	Metazaclor	µg/L	6B
24	Metolaclor	µg/L	6B
25	Metribuzin	µg/L	6B
26	Metobromuron	µg/L	6B
27	Oxadixyl	µg/L	6B
28	Pendimetalin	µg/L	6B
29	Procimidone	µg/L	6B
30	Simazina	µg/L	6B
31	Terbutilazina	µg/L	6B
32	Terbutrina	µg/L	6B
33	Trifluralin	µg/L	6B
34	Vinclozolin	µg/L	6B

3.2 Monitoraggi ARPA straordinari

In aggiunta alle attività di monitoraggio routinarie descritte nei paragrafi precedenti, la sezione provinciale dell'ARPA Lazio ha svolto sulle matrici ambientali del bacino oggetto di studio le seguenti ulteriori attività di indagine, regolate da apposite convenzioni:

- *“Attività di contrasto al degrado della qualità delle acque”*, in convenzione con l'Amministrazione Provinciale di Viterbo, sintetizzata nel rapporto tecnico finale di febbraio 2010;
- *“Attività di monitoraggio e controllo sui sedimenti del bacino lacustre”*, approfondimenti di indagine concordati con la Regione ed effettuati ad aprile 2010;
- *“Caratterizzazione dei terreni circumlacuali”*, a seguito della richiesta di accertamenti (giugno 2010) da parte del Comando Carabinieri per la Tutela della Salute – N.A.S. di Viterbo;
- *“Approfondimento di indagine sull'inquinamento del Lago di Vico”*, su richiesta della Procura di Viterbo, consistente in due campagne di campionamento e analisi (estese) delle acque del lago, in corrispondenza delle 6 stazioni abitualmente monitorate per la balneazione.

Nei paragrafi che seguono sono sintetizzate caratteristiche e risultati delle suddette attività di monitoraggio.

3.2.1 “Attività di contrasto al degrado della qualità delle acque”

Nell’ambito della convenzione sottoscritta con l’Amministrazione Provinciale di Viterbo, ARPA Lazio ha definito e realizzato, tra febbraio 2009 e gennaio 2010, uno specifico programma di monitoraggio della qualità delle acque del lago di Vico, al fine di individuare le possibili cause dei ripetuti fenomeni di fioritura algale imputabili alla presenza della specie *Planktothrix rubescens*.

I campionamenti sono stati effettuati in corrispondenza delle cinque stazioni di prelievo descritte in Tabella 25 e rappresentate in Tavola 6, quattro delle quali ubicate non distanti dalla riva ed una in corrispondenza della zona di massima profondità del lago, in prossimità del punto abitualmente monitorato per il controllo degli obiettivi di qualità ambientale (cfr. par. 3.1.3); un unico campione di sedimento di fondo lago è stato prelevato in corrispondenza del punto centrale.

Tabella 25 – Punti di monitoraggio previsti dall’Attività di contrasto al degrado della qualità delle acque (febbraio 2009 ÷ gennaio 2010)

Codice	Stazione	Prof. prelievo PP [m]	Comune	Coordinate (ED50 fuso 33)	
				X [m]	Y [m]
1-E	Massima Profondità	0.5; 5; 10; 20; 42	Caprarola	267711	4689795
2-A	Lido Fogliano	1.0÷1.5	Caprarola	265980	4690054
3-B	Bella Venere	1.0÷1.5	Caprarola	268602	4690679
4-D	Prese acquedotto	1.0÷1.5	Caprarola	268515	4688194
5-C	Riva Fiorita	1.0÷1.5	Ronciglione	266120	4687998

Come schematizzato in Tabella 26, su tutti i campioni d’acqua è stato determinato un set base di parametri chimico-fisici (SET A1, Tabella 27), mentre sui campioni prelevati nei mesi di febbraio, giugno, settembre 2009 e gennaio 2010, è stato determinato in aggiunta un set esteso di contaminanti, con particolare attenzione a fitosanitari e biocidi (SET A2, Tabella 28).

Tabella 26 – Matrici indagate e SET di parametri determinati su ciascuna stazione di monitoraggio nell’Attività di contrasto al degrado della qualità delle acque (febbraio 2009 + gennaio 2010)

Punto	Matrice	SET	2009											2010	
			FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	GEN	
1E	Acque	A1	X	--	X	X	X	X	X	X	X	X	X	--	X
		A2	X	--	--	--	X	--	--	X	--	--	--	--	X
	Sedimenti	S1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	X	--	--	--
2-A	Acque	A1	--	--	X	X	X	X	X	X	X	X	X	--	X
		A2	--	--	--	--	X	--	--	X	--	--	--	--	X
3-B	Acque	A1	--	--	X	X	X	X	X	X	X	X	X	--	X
		A2	--	--	--	--	X	--	--	X	--	--	--	--	X
4-D	Acque	A1	--	--	X	X	X	X	X	X	X	X	X	--	X
		A2	--	--	--	--	X	--	--	X	--	--	--	--	X
5-C	Acque	A1	--	--	X	X	X	X	X	X	X	X	X	--	X
		A2	--	--	--	--	X	--	--	X	--	--	--	--	X

Tabella 27 – Parametri chimico-fisici di base (SET A1 sui campioni di acqua di lago prelevati per il monitoraggio straordinario in convenzione con la Provincia di VT (febbraio 2009 + gennaio 2010); (*) = parametri misurati in campo, con sonda multiparametrica

SET	Parametro	UdM	Metodica
A1	Trasparenza (*)	m	APAT IRSA-CNR 2120 Man 29 2003
A1	Temperatura (*)	°C	APAT IRSA-CNR 2100 Man 29 2003
A1	pH (*)	Unità pH	APAT IRSA-CNR 2060 Man 29 2003
A1	Ossigeno disciolto (*)	mg/L O ₂	APAT IRSA-CNR 4120 A4 Man 29 2003
A1	Ossigeno di saturazione (*)	% O ₂	APAT IRSA-CNR 4120 A4 Man 29 2003
A1	Clorofilla (*)	µg/L	APAT IRSA-CNR 9020 A4 Man 29 2003
A1	Conducibilità elettrica specifica (*)	µS/cm @ 20 °C	APAT IRSA-CNR 2120 Man 29 2003
A1	Fosforo totale	µg/L	APAT IRSA-CNR 4110 A2 Man 29 2003
A1	Ortofosfato	µg/L	APAT IRSA-CNR 4110 A1 Man 29 2003
A1	Azoto nitrico	µg/L	Rapp. ISTISAN 2007/31 Met ISS CBB 037
A1	Azoto ammoniacale	µg/L	APAT IRSA-CNR 4130 A1 Man 29 2003
A1	Azoto nitroso	µg/L	APAT IRSA-CNR 4050 A4 Man 29 2003

Tabella 28 – Parametri aggiuntivi (SET A2) determinati sui campioni di acqua di lago prelevati per il monitoraggio straordinario in convenzione con la Provincia di VT (febbraio 2009 ÷ gennaio 2010)

SET	Parametro	UdM	Metodica
1 - Inquinanti inorganici			
A2	Rame	µg/L	Rapp. ISTISAN 2007/31 Met ISS DAA 009
A2	Zinco	µg/L	Rapp. ISTISAN 2007/31 Met ISS DAA 049
A2	Arsenico	µg/L	Rapp. ISTISAN 2007/31 Met ISS DAA 003
A2	Cadmio e suoi composti	µg/L	Rapp. ISTISAN 2007/31 Met ISS DAA 007
A2	Cromo totale	µg/L	Rapp. ISTISAN 2007/31 Met ISS DAA 008
A2	Mercurio e suoi composti	µg/L	Rapp. ISTISAN 2007/31 Met ISS DAB 013
A2	Nichel e suoi composti	µg/L	Rapp. ISTISAN 2007/31 Met ISS DAA 014
A2	Piombo e suoi composti	µg/L	Rapp. ISTISAN 2007/31 Met ISS DAA 012
2 – Idrocarburi Policiclici Aromatici			
A2	Idrocarburi Policiclici Aromatici	µg/L	APAT IRSA-CNR 5080 A2 Man 29 2003
3 – Idrocarburi aromatici			
A2	Benzene	µg/L	APAT IRSA-CNR 5140 Man 29 2003
A2	Triclorobenzeni	µg/L	APAT IRSA-CNR 5150 Man 29 2003
4 – Idrocarburi alifatici clorurati			
A2	1,2-Dicloroetano	µg/L	APAT IRSA-CNR 5150 Man 29 2003
A2	Diclorometano	µg/L	APAT IRSA-CNR 5150 Man 29 2003
A2	Esaclorobutadiene	µg/L	APAT IRSA-CNR 5150 Man 29 2003
A2	Triclorometano (cloroformio)	µg/L	APAT IRSA-CNR 5150 Man 29 2003
A2	Tricloroetilene (TCE)	µg/L	APAT IRSA-CNR 5150 Man 29 2003
A2	Tetracloroetilene (PCE)	µg/L	APAT IRSA-CNR 5150 Man 29 2003

SET	Parametro	UdM	Metodica
5.1 – Prodotti fitosanitari e biocidi – Ciclodiene derivati			
A2	Aldrin	µg/L	APAT IRSA-CNR 5150 Man 29 2003
A2	Dieldrin	µg/L	APAT IRSA-CNR 5150 Man 29 2003
A2	Endrin	µg/L	APAT IRSA-CNR 5150 Man 29 2003
A2	Isodrin	µg/L	APAT IRSA-CNR 5150 Man 29 2003
5.2 – Prodotti fitosanitari e biocidi – Organoclorurati			
A2	Diclorodifeniltricloroetano (DDT)	µg/L	APAT IRSA-CNR 5060 Man 29 2003
A2	Endosulfan	µg/L	APAT IRSA-CNR 5060 Man 29 2003
A2	Esaclorocicloesano	µg/L	APAT IRSA-CNR 5060 Man 29 2003
A2	Lindano	µg/L	APAT IRSA-CNR 5060 Man 29 2003
A2	Esaclorobenzene	µg/L	APAT IRSA-CNR 5060 Man 29 2003
5.3 – Prodotti fitosanitari e biocidi – Fenilurea derivati			
A2	Isoproturon	µg/L	APAT IRSA-CNR 5060 Man 29 2003
5.4 – Prodotti fitosanitari e biocidi – Alotriazine			
A2	Atrazina	µg/L	APAT IRSA-CNR 5060 Man 29 2003
A2	Simazina	µg/L	APAT IRSA-CNR 5060 Man 29 2003
5.5 – Prodotti fitosanitari e biocidi – Organofosforici			
A2	Clorfenvinfos	µg/L	APAT IRSA-CNR 5060 Man 29 2003
5.6 – Prodotti fitosanitari e biocidi – Organotiofosforici			
A2	Clorpyrifos	µg/L	APAT IRSA-CNR 5060 Man 29 2003
5.7 – Altri fitosanitari e biocidi			
A2	Alaclor	µg/L	APAT IRSA-CNR 5060 Man 29 2003
A2	Trifluralin	µg/L	APAT IRSA-CNR 5060 Man 29 2003
A2	Pentaclorofenolo	µg/L	APAT IRSA-CNR 5060 Man 29 2003

A novembre 2009 è stato prelevato, con apposito campionatore a caduta libera in corrispondenza della verticale del punto 1-E (S00 in Tav. 5), un campione di sedimento di fondo; sul materiale recuperato sono stati determinati i parametri di Tabella 29 (SET S1).

Tabella 29 – Parametri (SET S1) determinati sul campione di sedimento di fondo lago prelevato per il monitoraggio straordinario in convenzione con la Provincia di VT (novembre 2009)

SET	Parametro	UdM	Metodica
1 - Composti inorganici			
S1	Rame	mg/kg	MI RI 114
S1	Zinco	mg/kg	MI RI 114
S1	Arsenico	mg/kg	MI RI 114
S1	Cadmio	mg/kg	MI RI 114
S1	Cromo	mg/kg	MI RI 114
S1	Nichel	mg/kg	MI RI 114
S1	Piombo	mg/kg	MI RI 114
2 – Idrocarburi Policiclici Aromatici			
S1	Benzo(a)antracene	µg/kg	EPA 8270D

SET	Parametro	UdM	Metodica
S1	Benzo(a)pirene	µg/kg	EPA 8270D
S1	Benzo(b)fluorantene	µg/kg	EPA 8270D
S1	Benzo(k)fluorantene	µg/kg	EPA 8270D
S1	Benzo(g,h,i)perilene	µg/kg	EPA 8270D
S1	Crisene	µg/kg	EPA 8270D
S1	Dibenzo(a,h)antracene	µg/kg	EPA 8270D
S1	Fluorantene	µg/kg	EPA 8270D
S1	Indeno(1,2,3-cd)pirene	µg/kg	EPA 8270D
S1	Naftalene	µg/kg	EPA 8270D
S1	Pirene	µg/kg	EPA 8270D
3 – Idrocarburi aromatici			
S1	Benzene	µg/kg	EPA 8260C
S1	1,2,3 Triclorobenzene	µg/kg	EPA 8260C
4 – Idrocarburi alifatici clorurati			
S1	Diclorometano	mg/kg	EPA 8260C
S1	Esaclorobutadiene	mg/kg	EPA 8260C
S1	Triclorometano (cloroformio)	mg/kg	EPA 8260C
S1	Tricloroetilene (TCE)	mg/kg	EPA 8260C
S1	Tetracloroetilene (PCE)	mg/kg	EPA 8260C
5.1 – Prodotti fitosanitari e biocidi – Ciclodiene derivati			
S1	Aldrin	µg/kg	EPA 8270D
S1	Dieldrin	µg/kg	EPA 8270D
S1	Endrin	µg/kg	EPA 8270D
S1	Isodrin	µg/kg	EPA 8270D
5.2 – Prodotti fitosanitari e biocidi – Organoclorurati			
S1	Alfa endosulfan	µg/kg	EPA 8270D
S1	Lindano	µg/kg	EPA 8270D
S1	Esaclorobenzene	µg/kg	EPA 8270D
5.3 – Prodotti fitosanitari e biocidi – Alotriazine			
S1	Atrazina	µg/kg	EPA 8270D
S1	Simazina	µg/kg	EPA 8270D
5.4 – Prodotti fitosanitari e biocidi – Organofosforici			
S1	Clorfenvinfos	µg/kg	EPA 8270D
5.5 – Prodotti fitosanitari e biocidi – Organotiofosforici			
S1	Clorpyrifos	µg/kg	EPA 8270D
5.6 – Altri fitosanitari e biocidi			
S1	Alaclor	µg/kg	EPA 8270D
S1	Trifluralin	µg/kg	EPA 8270D
S1	Pentaclorofenolo	µg/kg	EPA 8270D
6 – Composti organici semivolatili			
S1	Tetracloruro di carbonio	mg/L	EPA 8260C

I risultati ottenuti sulla matrice acquosa consentono di formulare le seguenti considerazioni:

- l'entità delle massime escursioni termiche rilevate su base annuale a diverse profondità della colonna d'acqua nel punto 1-E (19°C in superficie e a 3°C al fondo), con le variazioni dei parametri ossigeno disciolto e pH, evidenziano l'instaurarsi di un fenomeno di stratificazione delle acque durante la stagione calda che raggiunge un massimo nel periodo tardo estivo;
- la concentrazione del parametro **arsenico** è risultata in 15 campioni su 23 superiore al valore di 10 µg/L (pari allo standard SQA-MA previsto dal D.M. 260/2010 e alla CSC per acque sotterranee prevista dal D.Lgs. 152/99); i valori osservati (media complessiva 14 µg/L) sembrano delineare una distribuzione verticale di concentrazione piuttosto omogenea, come già evidenziato dai campionamenti periodici effettuati per la valutazione degli obiettivi di qualità ambientale, con l'eccezione del campionamento stratificato del 28 settembre (valore massimo, al fondo, di 31 µg/L); l'analisi dei due set di dati più estesi (8 giugno e 28 settembre, 5 stazioni campionate) indica concentrazioni sensibilmente superiori alla media in prossimità della stazione Lido Fogliano;
- la concentrazione del parametro **mercurio** è risultata in quattro campioni superficiali (prelevati nel periodo estivo da altrettante stazioni) superiore ai limiti di rilevabilità strumentale; in due casi (2 µg/L presso la stazione 2-A l'8 giugno; 1.2 µg/L in 4-D il 28 settembre) la concentrazione è superiore alla CSC per le acque sotterranee prevista dal D.Lgs. 152/99 (1 µg/L); nella campagna più recente (gennaio 2010) non si riscontrano anomalie di concentrazione;
- la concentrazione del parametro **tetracloruro di carbonio** è risultata in cinque campioni prelevati l'8 giugno, di cui tre sulla verticale del punto di massima profondità, superiore ai limiti di rilevabilità (0.1 µg/L) ma comunque inferiore al limite¹² proposto dall'ISS di 0.15 µg/L; non risultano interessate dalla presenza del contaminante le due stazioni litoranee più a nord (2-A e 3-B); sugli stessi campioni si è rilevata presenza di **tetracloroetilene** in concentrazioni massime di 0.2 µg/L;
- la concentrazione del parametro **benzo(k)fluorantene** in un campione prelevato l'8 giugno sulla verticale del punto di massima profondità è risultata superiore sia allo SQA-MA (0.03 µg/L) sia alla CSC per le acque sotterranee (0.05 µg/L).

Il confronto delle risultanze analitiche del campione di sedimento prelevato il 24 novembre 2009 con le Concentrazioni Soglia di Contaminazione¹³ (CSC) per i terreni ad uso verde pubblico, privato e residenziale, ha evidenziato superamenti per i parametri Arsenico (647 mg/kg a fronte di una CSC di 20 mg/kg), Nichel (566 mg/kg, CSC di 120 mg/kg) e Cadmio (12 mg/kg, CSC di 2 mg/kg).

In conseguenza di ciò l'ARPA Lazio sezione di Viterbo ha inoltrato comunicazione agli organi competenti, ai sensi dell'art. 244, comma 1, del D.Lgs. 152/2006 (prot. 0014502 del 26 febbraio 2010).

¹² Limite proposto dall'Istituto Superiore di Sanità per le acque sotterranee (2000-2001 - Gruppo di lavoro ANPA, ARPA Liguria, ARPA Piemonte per il S.I.N. ex Acna di Cengio)

¹³ Tabella 1, colonna A, dell'Allegato 5 alla Parte quarta, Titolo V, del D.Lgs. 152/2006

3.2.2 “Attività di monitoraggio e controllo sui sedimenti del bacino lacustre”

Dopo la comunicazione ai sensi dell’art. 244, comma 1, del D.Lgs. 152/2006 (26 febbraio 2010), come concordato dal tavolo tecnico convocato dalla Regione Lazio nel marzo 2010, l’ARPA Lazio ha pianificato e realizzato una campagna di campionamento e analisi dei sedimenti di fondo lago, al fine di approfondire la conoscenza dello stato di contaminazione riscontrato nel corso dell’attività di cui al par. precedente.

In data 1 aprile 2010 sono stati prelevati (con apposito campionatore a caduta libera) e sottoposti ad analisi 6 campioni di sedimento del fondo lago (di spessore variabile tra 5 e 20 cm, a profondità comprese tra 16 e 42 m), ubicati come riportato in Tavola 5 e risultati di aspetto e consistenza disomogenei.

Tabella 30 – Punti di monitoraggio previsti dall’Attività di monitoraggio e controllo sui sedimenti del bacino lacustre (aprile 2010)

Codice	Stazione	Profondità [m]	Comune	Coordinate (ED50 fuso 33)	
				X [m]	Y [m]
1	La scaletta	24	Ronciglione	265960	4687516
2	Riva Fiorita	22	Ronciglione	265529	4687711
3	Transetto dav. Pt. 1	42	Ronciglione	266066	4688333
4	Lido Fogliano	23	Caprarola	266687	4689881
5	Bella Venere	24	Caprarola	268648	4690489
6	Santa Lucia	16	Ronciglione	268517	4688743
1-E ¹⁴	Massima Profondità	42	Caprarola	267711	4689795

Sui nuovi campioni di sedimento sono stati determinati gli stessi parametri ricercati sul campione di novembre 2009, già riportati in Tabella 29 (SET S1); il confronto dei risultati (Tabella 31) con le Concentrazioni Soglia di Contaminazione¹⁵ (CSC) per i terreni ad uso verde pubblico, evidenzia:

- relativamente al **Cadmio**, un superamento: 2.5 mg/kg a fronte di una CSC di 2.0 mg/kg in corrispondenza del punto 1;
- relativamente al **Nichel** (già rilevato sul campione del 2009), nessun superamento;
- relativamente all’**Arsenico**, superamenti della CSC di 20 mg/kg su tutti i campioni (127 mg/kg nel punto 1, 223 mg/kg in 2, 207 mg/kg nel punto 3, 252 mg/kg in 4, 140 mg/kg in 5 e 129 mg/kg in 6);
- relativamente al **Piombo**, un superamento nel punto 4 (104 mg/kg a fronte di una CSC di 100 mg/kg).

Si osservano, inoltre:

- la presenza consistente su tutti i campioni dei rimanenti metalli determinati, anche se in concentrazione inferiore ai limiti tabellari di riferimento;

¹⁴ Campione prelevato a novembre 2009, nell’ambito dell’ “Attività di contrasto al degrado della qualità delle acque” (par. 3.2.1)

¹⁵ Tabella 1, colonna A, dell’Allegato 5 alla Parte quarta, Titolo V, del D.Lgs. 152/2006

- la presenza di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) in tutti i campioni analizzati, in concentrazioni inferiori di circa un ordine di grandezza ai limiti di riferimento;
- concentrazioni di idrocarburi aromatici e alifatici alogenati inferiori ai limiti di rilevabilità strumentale su tutti i campioni prelevati.

Tabella 31 – Risultati delle analisi effettuate sui campioni di sedimento di fondo lago; in rosso le non conformità rispetto ai limiti (CSC) previsti dal D.Lgs. 152/2006¹⁶ per i terreni ad uso verde pubblico

Parametro \ Punto	1 [mg/kg]	2 [mg/kg]	3 [mg/kg]	4 mg/kg]	5 [mg/kg]	6 [mg/kg]	1-E [mg/kg]	CSC [mg/kg]
Cadmio	2.5	0.2	0.3	0.2	0.06	0.1	12	2.0
Cromo	101	60	39	56	31	38	40	150
Rame	22	17	21	8	22	28	27	120
Zinco	83	82	79	139	84	80	77	150
Nichel	36	26	20	21	18	17	566	120
Piombo	96	80	80	104	93	97	53	100
Arsenico	127	223	207	252	140	129	647	20
Mercurio	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-	1
Benzene	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	0.1
Benzo[a]antracene	0.02	0.03	0.01	0.004	0.009	0.003	0.02	0.1
Benzo[a]pirene	0.01	0.02	0.01	<0.02	0.005	<0.002	0.01	0.1
Benzo[b]fluorantene	0.03	0.05	0.04	0.006	0.02	0.004	0.04	-
Benzo[g,h,i]perilene	0.02	0.03	0.03	0.008	0.009	0.002	0.02	0.1
Crisene	0.03	0.04	0.02	0.004	0.01	0.003	0.02	5
Dibenzo[a,h]antracene	0.008	0.07	0.006	0.003	0.002	0.002	0.006	0.1
Fluorantene	0.05	0.04	0.06	0.01	0.002	0.007	0.03	0.5
Benzo[a]fluorantene	0.01	0.03	0.02	0.004	0.007	0.003	0.02	-

¹⁶ Tabella 1, colonna A, dell'Allegato 5 alla Parte quarta, Titolo V, del D.Lgs. 152/2006

3.2.3 “Caratterizzazione dei terreni circumlacuali”

A seguito della richiesta di accertamenti urgenti pervenuta dal Comando Carabinieri per la Tutela della Salute – N.A.S. di Viterbo in data 22 giugno 2010, l’ARPA Lazio ha effettuato una campagna di campionamento e analisi della matrice suolo nell’area settentrionale del bacino imbrifero del lago, in prossimità della riva. I carotaggi (C01÷C07) sono stati realizzati con attrezzatura a percussione e spinti fino alla profondità massima di tre metri; i campioni sono stati composti in modo da risultare rappresentativi di ogni metro perforato.

Una seconda campagna di prelievo (C08÷C16), condotta con le stesse modalità della precedente, è stata realizzata all’inizio dell’anno 2011 per estendere il quadro conoscitivo a tutto il perimetro lacustre; su tutti i campioni sono state determinate le concentrazioni di 14 metalli e metalloidi e di due fitofarmaci (atrazina e simazina).

In Tabella 32 sono riportate, per ciascun punto di campionamento, ubicazione e codice identificativo, profondità di investigazione raggiunta ed eventuale intercettazione della frangia capillare; tutti i punti di campionamento sono rappresentati in Tavola 2.

Tabella 32 – Punti di campionamento per la caratterizzazione dei terreni circumlacuali

ID punto	Ubicazione			ID campioni (N.R.G.)	Profondità [m]	Frangia capillare?
	X [m]	Y [m]	Toponimo			
C.01	264969	4692369	Pantanacce	3207, 3208	2.0	sì
C.02	266686	4690699	Pantanello Nord	2432, 2433, 2434	3.0	no
C.03	267787	4690363	Pantanello Sud	3029, 3030, 3031	3.0	no
C.04	268726	4690847	Bella Venere	3169, 3170, 3171	3.0	no
C.05	269220	4689784	Procolo	2435, 2436, 2437	3.0	no
C.06	268775	4691514	Monte Venere Est	2611, 2612	1.6	no
C.07	267810	4691421	Monte Venere Sud	3260, 3261	2.0	no
C.08	265462	4690905	Fondo Cenci	1086, 1087, 1088	3.0	no
C.09	265802	4690092	C. studi Fogliano	1007, 1008	1.5	no
C.10	265091	4687951	Ultima Spiaggia	1228, 1229, 1230	3.0	no
C.11	265341	4687302	Casaletto	1251, 1252, 1253	3.0	no
C.12	265944	4686972	Poggio Cavalieri	1254, 1255, 1256	3.0	sì
C.13	265624	4687493	Canalone NBC	1231, 1232	2.0	no
C.14	265325	4689169	Fontana Grazia Dei	1326, 1327	2.0	no
C.15	269124	4688134	Santa Lucia	1277	0.8	sì
C.16	266901	4687326	Punta del Lago	1328	1.5	sì

Il confronto con le CSC (Tabella 33) dei risultati analitici disponibili al momento, relativi ai campioni dai primi 7 sondaggi, evidenzia non conformità per il parametro Arsenico su tutti i punti, con valori compresi tra il massimo di 190 mg/kg s.s. in C01 (tra 1 e 2 m di profondità) e un valore minimo di 24 mg/kg in C07 (primo metro); la media della concentrazione di arsenico rilevata risulta pari a 94 mg/kg s.s., mentre non si riscontrano marcate differenze tra i campionamenti più superficiali e quelli più profondi nell’ambito degli orizzonti indagati (primi

tre metri). Le concentrazioni di Simazina e Atrazina sono risultate per tutti i campioni inferiori ai limiti di rilevabilità strumentale (0.001 mg/kg).

Tabella 33 – Risultati parziali delle analisi effettuate sui campioni di terreni circumlacuali

ID		Prof. [m]	As [mg/kg] CSC = 20	Cd [mg/kg] CSC = 2	Ni [mg/kg] CSC = 120	Pb [mg/kg] CSC = 100	Atrazina [mg/kg] CSC = 0.01	Simazina [mg/kg] CSC = n.a.
Punto	Sample							
C.01	3207	0.0 ÷ 1.0	152	0.16	28	63	<0.001	<0.001
C.01	3208	1.0 ÷ 2.0	190	0.18	17	36	<0.001	<0.001
C.02	2432	0.0 ÷ 1.0	93	0.16	27	69	<0.001	<0.001
C.02	2433	1.0 ÷ 2.0	86	0.12	25	48	<0.001	<0.001
C.02	2434	2.0 ÷ 3.0	139	0.12	21	46	<0.001	<0.001
C.03	3029	0.0 ÷ 1.0	82	0.19	27	53	<0.001	<0.001
C.03	3030	1.0 ÷ 2.0	83	0.21	30	65	<0.001	<0.001
C.03	3031	2.0 ÷ 3.0	113	0.18	23	50	<0.001	<0.001
C.04	3169	0.0 ÷ 1.0	110	0.17	22	66	<0.001	<0.001
C.04	3170	1.0 ÷ 2.0	110	0.13	20	43	<0.001	<0.001
C.04	3171	2.0 ÷ 3.0	92	0.15	18	48	<0.001	<0.001
C.05	2435	0.0 ÷ 1.0	167	0.14	18	57	<0.001	<0.001
C.05	2436	1.0 ÷ 2.0	114	0.12	26	43	<0.001	<0.001
C.05	2437	2.0 ÷ 3.0	62	0.25	33	58	<0.001	<0.001
C.06	2611	0.0 ÷ 1.0	25	0.18	27	44	<0.001	<0.001
C.06	2612	1.0 ÷ 1.6	29	0.12	25	45	<0.001	<0.001
C.07	3260	0.0 ÷ 1.0	24	0.22	9	28	<0.001	<0.001
C.07	3261	1.0 ÷ 2.0	25	0.20	43	32	<0.001	<0.001

3.2.4 “Approfondimento di indagine sull’inquinamento del Lago di Vico”

Nel luglio 2010, su richiesta della Procura di Viterbo, sono state effettuate due campagne di campionamento e analisi delle acque del lago, in corrispondenza delle 6 stazioni abitualmente monitorate per la definizione della qualità delle acque destinate alla balneazione (cfr. par. 3.2.4, Tabella 17 a pag. 49).

Sui campioni prelevati sono state ricercati sia i metalli e metalloidi sia un ampio spettro di composti fitosanitari e biocidi.

I risultati, riportati in Tabella 34, mettono in luce la presenza di Arsenico su tutti i campioni in concentrazione variabile tra 15 e 21 µg/l, con i valori più elevati riscontrati presso la stazione di monitoraggio di Lido Fogliano. Nella stazione di “Punta del Lago 500 m sinistra” si è rilevata la presenza dell’analita Cromo con concentrazione di 15 µg/l.

Tabella 34 – Approfondimenti di indagine sulle acque del lago (luglio 2010) - Metalli e metalloidi

Stazione prelievo	DATA	Cd [µg/L]	Cr [µg/L]	Cu [µg/L]	Zn [µg/L]	Ni [µg/L]	Pb [µg/L]	As [µg/L]	Hg [µg/L]
Lido Fogliano	09/07/2010	<0.5	<2	<100	<100	1	<1	18	<0.2
	29/07/2010	<0.5	<2	<100	<100	<1	<1	21	<0.2
Riva Fiorita	09/07/2010	<0.5	<2	<100	<100	<1	1	15	<0.2
	29/07/2010	<0.5	<2	<100	<100	<1	<1	15	<0.2
La Scaletta	09/07/2010	<0.5	<2	<100	<100	<1	<1	15	<0.2
	29/07/2010	<0.5	2	<100	<100	<1	<1	15	<0.2
Sans Soucis	09/07/2010	<0.5	<2	<100	<100	1	<1	15	<0.2
	29/07/2010	<0.5	<2	<100	<100	1	<1	15	<0.2
Bella Venere	09/07/2010	<0.5	2	<100	<100	1	<1	15	<0.2
	29/07/2010	<0.5	<2	<100	<100	1	<1	16	<0.2
500 m sin. Punta Lago	09/07/2010	<0.5	15	<100	<100	1	<1	15	<0.2
	29/07/2010	<0.5	<2	<100	<100	2	<1	15	<0.2

Per quanto riguarda la determinazione dei fitofarmaci (Tabella 35 e Tabella 36), nella campagna del 9 luglio 2010 si riscontra la presenza di Simazina (in concentrazione di 2.2 µg/l) presso la stazione denominata Riva Fiorita, e di Endrin (in concentrazione di 2.6 µg/l) presso la stazione denominata Lido Fogliano.

Tabella 35 – Approfondimenti di indagine sulle acque del lago (luglio 2010) – Fitofarmaci e biocidi - 1

Stazione prelievo	DATA	Alaclor [µg/L]	Atrazina [µg/L]	Clorpirifos [µg/L]	DDT e isom [µg/L]	Dieldrin [µg/L]	Endosulfan [µg/L]
Lido Fogliano	09/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	29/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Riva Fiorita	09/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	29/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
La Scaletta	09/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	29/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sans Soucis	09/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	29/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Bella Venere	09/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	29/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
500 m sin. Punta Lago	09/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	29/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

Tabella 36 – Approfondimenti di indagine sulle acque del lago (luglio 2010) – Fitofarmaci e biocidi - 2

Stazione prelievo	DATA	Aldrin [µg/L]	Endrin [µg/L]	Isodrin [µg/L]	Simazina [µg/L]	Trifluralin [µg/L]	Lindano [µg/L]
Lido Fogliano	09/07/2010	<0.01	2.6	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	29/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Riva Fiorita	09/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	2.2	<0.01	<0.01
	29/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
La Scaletta	09/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	29/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sans Soucis	09/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	29/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Bella Venere	09/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	29/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
500 m sin. Punta Lago	09/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	29/07/2010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

3.3 Dati acquisiti da attività di indagine o fonti esterne

Nell'ambito della raccolta e sistematizzazione di dati ambientali relativi al bacino del lago è stata acquisita una considerevole mole di informazioni di diversa tipologia e provenienza. Si segnala, per qualità e attinenza con gli obiettivi del modello concettuale, quanto di seguito riportato.

3.3.1 Indagini dirette sui suoli dell'ex Magazzino Materiali N.B.C.

Tra luglio e dicembre 2009 la società SO.IN.G. S.r.l. di Livorno ha realizzato, all'interno dell'ex Magazzino Materiali N.B.C. ubicato sulla sponda meridionale del lago, una campagna di indagine commissionata dall'Amministrazione della Difesa - Direzione Generale degli Armamenti Terrestri.

Lo studio è stato sviluppato in due fasi distinte, la prima di tipo esclusivamente geofisico e la seconda consistente in un'indagine diretta dei suoli: esecuzione di 10 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti ad una profondità massima di 5 m, in prossimità di anomalie geofisiche precedentemente individuate, prelievo di due campioni di terreno per sondaggio ed esecuzione di analisi chimico fisiche.

L'attività in questione ha permesso di definire una stratigrafia di dettaglio dei primi cinque metri di terreno, naturale e di riporto, nonché di verificarne il livello di contaminazione in corrispondenza di due livelli distinti (approssimativamente ad un metro e a quattro di profondità).

Sui 20 campioni complessivamente prelevati sono stati determinati i parametri elencati in Tabella 37; su un solo campione (S5/A) sono state effettuate determinazioni aggiuntive dei parametri TCE e IPA, a seguito di un'anomalia del parametro "Screening HRGC/LRMS".

Si sottolinea che la definizione del particolare set analitico del 2009, come premesso dalla stessa società che ne ha pianificato l'esecuzione, costituisce un "protocollo di tipo conoscitivo", uno strumento d'indagine preliminare che, tuttavia, non può ritenersi esaustivo per gli obiettivi di una caratterizzazione ai sensi del D.Lgs. 152/2006.

Il confronto dei risultati delle analisi con le concentrazioni soglia di rischio (CSC) per i "Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale", riportate nell'Allegato 2 al Titolo V della parte quarta del D.Lgs. 152/06 (Tabella 1, colonna A) ha evidenziato le seguenti non conformità:

- nel sondaggio S1: superamento della CSC per il solo parametro Arsenico su entrambi gli orizzonti indagati (campioni S1/A e S1/B);
- nel sondaggio S5: superamento delle CSC per i parametri Arsenico, Zinco, PCE, Benzo(a)pirene, Indeno(1,2,3-cd)pirene, Benzo(g,h,i)perilene sul campione meno profondo (S5/A, da 0.30 a 0.50 m di profondità).

In Tabella 37 si riportano i risultati delle analisi per tutti i parametri determinati sui campioni dei sondaggi S1 e S5, nonché sul campione "di bianco".

Tabella 37 – Risultati delle analisi sui campioni di terreno S1/A, S1/B, S5/A e S5/B e confronto con le CSC colonna A (in rosso i superamenti del riferimento normativo)

Parametro	UdM	S1/A	S1/B	S5/A	S5/B	BIANCO	CSC
Scheletro	% s.s.	34.9	35	32.2	45.3	24.6	na
Residuo secco a 105 °C	%	92.4	79.3	91.6	91.5	87.5	na
Cloruri (ione cloruro)	mg/kg s.s.	1	3	6	5	7	na
Solfati (ione solfato)	mg/kg s.s.	3	41	95	76	12	na
Cianuri liberi (ione cianuro)	mg/kg s.s.	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	1
Fosforo totale (come P)	mg/kg s.s.	679	666	462	358	345	na
Idrocarburi							
Idrocarburi leggeri (C < 12)	mg/kg s.s.	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	10
Idrocarburi pesanti (C > 12)	mg/kg s.s.	8	< 5	23	< 5	13	50
Composti organici aromatici							
Benzene	mg/kg s.s.	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.1
Etilbenzene (A)	mg/kg s.s.	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.5
Stirene (B)	mg/kg s.s.	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.5
Toluene (C)	mg/kg s.s.	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.5
Xilene (D)	mg/kg s.s.	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.5
Sommatoria A, B, C, D	mg/kg s.s.	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	1
Metalli							
Alluminio	mg/kg s.s.	46005	76379	27478	22794	29828	na
Arsenico	mg/kg s.s.	70	71	27	12	17	20
Magnesio	mg/kg s.s.	2011	1395	2270	272	86	na
Zinco	mg/kg s.s.	50.2	34.7	258	9.2	8.8	150
Zolfo	mg/kg s.s.	177	136	778	154	515	na
Altre sostanze							
Solventi organici alogenati	mg/kg s.s.	< 0.001	< 0.001	0.563	< 0.001	< 0.001	na
Screening HRGC/LRMS vol/sem.	mg/kg s.s.	< 0.1	< 0.1	4.6	< 0.1	< 0.1	na
Tetracloroetilene (PCE)	mg/kg s.s.	na	na	0.6	na	na	0.5
Fenantrene	mg/kg s.s.	na	na	0.5	na	na	5¹⁷
Antracene	mg/kg s.s.	na	na	0.1	na	na	5¹⁷
Fluorantene	mg/kg s.s.	na	na	0.7	na	na	5¹⁷
Pirene	mg/kg s.s.	na	na	0.6	na	na	5
Benzo(a)antracene	mg/kg s.s.	na	na	0.4	na	na	0.5
Crisene	mg/kg s.s.	na	na	0.4	na	na	5

¹⁷ ISS, 2000-2001 - Gruppo di lavoro ANPA, ARPA Liguria, ARPA Piemonte sul sito Acna di Cengio (SV)

Parametro	UdM	S1/A	S1/B	S5/A	S5/B	BIANCO	CSC
Benzo(b)fluorantene	mg/kg s.s	na	na	0.4	na	na	0.5
Benzo(k)fluorantene	mg/kg s.s	na	na	0.2	na	na	0.5
Benzo(a)pirene	mg/kg s.s.	na	na	0.3	na	na	0.1
Indeno(1,2,3-cd)pirene	mg/kg s.s.	na	na	0.2	na	na	0.1
Benzo(g,h,i)perilene	mg/kg s.s.	na	na	0.2	na	na	0.1

Relativamente al “campione di bianco” si sottolinea che la posizione di prelievo (area boschiva, coordinate UTM33 ED50: E 266450, N 4687044), la profondità (tra 0.3 e 0.4 m da p.c.) e alcune caratteristiche fisiche (basso scheletro) e chimiche (presenza di idrocarburi pesanti), ne rendono discutibile la rappresentatività.

3.3.2 Velocità di sedimentazione e datazione dei sedimenti di fondo lago

Nell'ambito di investigazioni multidisciplinari sui cambiamenti climatico/ambientali del Quaternario, finanziate dalla Comunità Europea, nell'aprile del 1992 sono state prelevate¹⁸ due carote parallele e continue di sedimento di fondo, in corrispondenza di una zona ubicata nel settore sud-orientale del lago, sotto battenti d'acqua rispettivamente di 19.3 m e 22.6 m, sufficientemente lontano dal "disturbo" costituito dal materiale grossolano proveniente dal Monte Venere.

Una delle due carote, di diametro 8 cm e lunga 15.2 m, prelevata dal punto profondo 22.6 m, è stata densamente subcampionata e sottoposta ad analisi mineralogiche, geochimiche, sedimentologiche, microstratigrafiche e tefrocronologiche, nonché a radiodatazione ⁴⁰Ar/³⁹Ar, a radiodatazioni al ¹⁴C in AMS e ad analisi palinologiche (Magri, 1999).

I risultati di 17 datazioni al ¹⁴C, in particolare, hanno consentito di ricostruire la cronologia della prima parte della sequenza stratigrafica (mentre una datazione al ⁴⁰Ar/³⁹Ar su cristalli di leucite di un livello a lapilli ha indicato l'età della base della colonna, laddove il metodo al radiocarbonio non risultava applicabile), come riportato in Tabella 38¹⁹.

In uno studio successivo (Narcisi, 2001), basato sulla reinterpretazione dei medesimi dati da un punto di vista paleoambientale e paleoclimatico, viene proposta anche una stima della velocità media di sedimentazione per i primi 4.5 m di colonna, corrispondenti ad un intervallo temporale di circa 30000 anni; come si evince dai valori riportati in tabella, la sedimentazione sul fondo del lago (in una zona teoricamente non interessata da frane subacquee) è stata caratterizzata, negli ultimi 20000 anni, da velocità particolarmente ridotte, mai superiori a 0.2 mm/anno.

Date tali ridotte velocità di sedimentazione si palesa la possibilità, prevedendo l'utilizzo di campionatori a caduta libera da un metro, di disporre di campioni di sedimento ascrivibili con certezza a periodi preindustriali; come illustrato nel capitolo 4.2, la datazione al carbonio sulla frazione organica di campioni di sedimento, associata alla determinazione analitica di contaminanti di interesse, sarà determinante nella definizione di un modello concettuale definitivo, consentendo di escludere (o meno) il contributo di specifiche pressioni antropiche.

¹⁸ con un pistone Livingstone modificato montato su piattaforma galleggiante

¹⁹ nelle datazioni con il radiocarbonio le età dei reperti sono sempre riferite al 1950 come all'anno 0 (anno delle prime misure radiometriche) e vengono indicate con la dicitura *B.P.* (Before Present); per comodità, in tabella, sono riportate anche le età convenzionali espresse in anni A.C.

Tabella 38 – Esiti delle datazioni al ^{14}C in AMS su sottocampioni di carota di sedimenti di lago di Vico (Magri et Al., 1999) e stima delle velocità medie V_{SED} di sedimentazione (modificata da Narcisi, 2001)

Campione		Datazione al ^{14}C (uncal.) in AMS [anni]			V_{SED} [mm/anno]
ID	Profondità [m]	B.P.	A.C.	Incertezza	
3852	0.36	2630	680	± 95	0.14
					0.18
3853	0.56	3710	1760	± 50	0.16
					0.16
3370	0.66	4315	2365	± 75	0.20
					0.20
3854	0.86	5345	3395	± 75	0.12
					0.12
3371	0.96	6165	4215	± 100	0.08
					0.08
3855	1.03	7025	5075	± 85	0.07
					0.07
11963	1.11	8225	6275	± 80	0.06
					0.06
3856	1.21	10255	8305	± 90	0.13
					0.13
3372	1.34	11295	9345	± 165	0.07
					0.07
3857	1.52	14385	12435	± 140	0.10
					0.10
3858	2.10	20500	18550	± 230	0.37
					0.37
3373	2.64	21950	20000	± 345	0.31
					0.31
3859	3.68	25210	23260	± 420	0.16
					0.16
3374	4.90	32985	31035	+1195/-1040	na
					na
3860	6.44	34875	32925	+1500/-1265	na
					na
3861	7.23	> 38000	< 36050	na	...

3.3.3 Censimento delle captazioni idriche

Per una corretta impostazione del piano di indagine delle acque sotterranee, al fine di completare e approfondire il quadro conoscitivo dell'idrogeologia relativa al lago, è stato effettuato un censimento di tutte le captazioni idriche interne all'area definita dall'involuppo dei bacini idrografico e idrogeologico (con un buffer di circa 3.5 km).

L'acquisizione delle informazioni è avvenuta con la collaborazione della Provincia di Viterbo, attingendo alla banca dati dei pozzi caratterizzati dall'acquisizione di una concessione di prelievo: per tale motivo sono state prese in considerazione le captazioni non ad uso domestico denunciate successivamente al 1994 e che seguissero l'iter ordinario che richiede, oltre ai dati della denuncia (estremi anagrafici del richiedente, localizzazione della captazione, volume di derivazione annua autorizzato, profondità di pozzo, soggiacenza della falda), la stesura di una relazione geologica di pozzo riportante le caratteristiche stratigrafiche e i parametri idraulici principali ricavati da prove di portata di pozzo (trasmissività del tratto acquifero captato e portata critica).

Nel complesso sono state selezionate 60 captazioni in base alla completezza del dato e della distribuzione geografica; tutti i dati sono stati integrati nel SIT specificatamente implementato per la caratterizzazione del lago.

3.3.4 Presenza di arsenico nelle acque sotterranee

La presenza di Arsenico nelle acque sotterranee del Viterbese, risorse sfruttate sia per approvvigionamento idropotabile sia nell'economia locale (turismo termale, agricoltura), è stata oggetto di forte interesse e di studio, soprattutto negli ultimi anni, da parte di istituzioni deputate al controllo e alla tutela della salute pubblica e di enti di ricerca.

I lavori più completi e autorevoli, tra quelli acquisiti e consultati, sono riconducibili a due obiettivi principali:

- definire compiutamente la situazione attuale, in termini di distribuzione dell'elemento nelle acque di un sistema idrogeologico particolarmente complesso, di cui il bacino del lago di Vico, oggetto del presente studio, è parte integrante;
- ipotizzare e spiegare le cause (naturali e/o eventuali antropiche) della presenza di arsenico nelle acque sotterranee e superficiali, per indirizzare proposte di intervento.

Entrambi i suddetti obiettivi sono stati efficacemente conseguiti da un progetto di ricerca svolto dall'Università della Tuscia di Viterbo in collaborazione con il centro ricerche ENEA-Casaccia, attività descritta in una tesi di dottorato di ricerca (Spaziani, 2010) dalla quale sono estratte le informazioni di seguito riportate e alla quale si rimanda per approfondimenti.

Come già discusso nel par. 2.4, la successione idrostratigrafica nell'area Cimino-Vicana ripartisce le acque sotterranee in due principali acquiferi (Piscopo et al., 2006): uno superficiale vulcanico e uno carbonatico profondo, separati da due distinte formazioni poco permeabili: un vero e proprio aquiclud, costituito dal complesso argilloso-sabbioso, presente immediatamente al di sotto delle vulcaniti nella porzione orientale dell'area (formazione 1 in Figura 4 a pag. 17) e un aquitard, costituito dal complesso flyshoide subito sotto le vulcaniti ad ovest della caldera (formazione 2), poco permeabile per porosità ma localmente caratterizzato da faglie o fratture. E' proprio in corrispondenza di tali vie preferenziali, ubicate nell'area termale di Viterbo, che i due acquiferi entrano limitatamente in comunicazione

(risalita di acque dall'acquifero carbonatico profondo). Completano il quadro numerose falde sospese di limitata estensione ma associate a numerose sorgenti (con portate limitate a pochi litri al secondo).

Nell'ambito del progetto di ricerca Università della Tuscia/ENEA sono stati selezionati e campionati, tra marzo e settembre 2007, 65 punti di osservazione (43 pozzi e 22 sorgenti, Tabella 39), in modo da coprire in modo omogeneo il territorio con dati rappresentativi delle diverse tipologie di acquiferi e dell'attività termale.

Tabella 39 – Caratteristiche dei punti campionati nell'ambito del progetto di ricerca svolto nel 2007 dall'Università della Tuscia in collaborazione con l'ENEA di Casaccia (modificato da Spaziani, 2010)

Punto di osserv.		ACQUIFERO			Q [L/s]
Tipo	Num.	Formazione caratterizzante	Tipo	Substrato	
Pozzi	3	Sabbie-conglomerati e depositi alluvionali	Base	Sed. sabb.-argillosi	1.0÷6.0
Pozzi	14	Vulcaniti Cimine e sabbie-conglomerati	Base	Sed. sabb.-argillosi	39
Pozzi	2	Vulcaniti Cimine	Sospeso	na	0.1÷0.3
Pozzi	11	Vulcaniti Vicane	Base	Flysch	1.0÷12
Pozzi	12	Vulcaniti Vicane e sabbie-conglomerati	Base	Sed. sabb.-argillosi	2.0÷10
Pozzi	1	Vulcaniti e Flysch	Conf. Profondo	Flysch	10
Sorgenti	1	Sabbie-conglomerati	Sospeso	nd	4
Sorgenti	4	Vulcaniti Cimine	Sospeso	nd	2.0÷8.0
Sorgenti	7	Vulcaniti Vicane	Sospeso	nd	0.1÷5.0
Sorgenti	6	Vulcaniti Vicane	Base	nd	2.0÷20
Sorgenti	4	Sistema idrotermale	Conf. Profondo	nd	1.0÷6.0

Ai fini della valutazione della composizione chimica delle acque e della relativa statistica (descrittiva) di base, i campioni sono stati suddivisi in due categorie-popolazioni (60 campioni di acque fredde e 5 di acque termali) e trattati separatamente; i risultati dell'analisi sono esposti in Tabella 40 e in Tabella 41.

Come evidente dagli indici statistici dei risultati delle analisi e dalle relative rappresentazioni su diagramma di Piper (Figura 16), le acque fredde sono immediatamente distinguibili da quelle termali sulla base del carico ionico ($EC=123\div749 \mu S/cm$ per le acque fredde; $EC=2780\div3230 \mu S/cm$ per quelle calde) e della relativa facies idrochimica (bicarbonato-calcica per le prime, solfato-calcica per le acque termali).

Le acque termali presentano concentrazioni di arsenico (media: $305 \mu g/L$; deviazione standard σ : $75 \mu g/L$), di un ordine di grandezza superiori rispetto alle acque fredde, peraltro caratterizzate da una buona variabilità (media: $23 \mu g/L$; σ : $28 \mu g/L$); il 62% dei campioni di acque fredde, in ogni caso, eccede il limite di $10 \mu g/L$ per le acque sotterranee.

La statistica descrittiva evidenzia ulteriori differenze di composizione tra i due gruppi di acque, in particolare per i parametri Sr, B, Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , NO_3^- , F^- , SO_4^{2-} ; l'analisi della matrice di correlazione calcolata sull'intero set di dati evidenzia, inoltre, correlazioni positive (con indici > 0.8) tra l'As e parametri quali B, F^- e solfati (nonché con temperatura ed EC).

Tabella 40 – Statistica descrittiva dei campioni di acque fredde (N = 60) analizzati nel 2007 per il progetto di ricerca Università della Tuscia/ ENEA (modificato da Spaziani, 2010)

Analita	UdM	MEDIA	Mediana	Minimo	Massimo	Dev. STD.
T	°C	17	17	7	22	2.4
EC	μS/cm	330	289	123	1065	168
pH	Unità pH	7.0	7.1	5.8	7.9	0.43
Eh	mV	314	310	175	530	78
As	μg/L	23	15	1.6	195	28
U	μg/L	7.2	3.2	0.04	49	9.8
V	μg/L	9.4	9.5	0.09	23	5.2
Sb	μg/L	0.67	0.57	0.02	1.8	0.45
Rb	μg/L	84	59	19	386	69
Sr	μg/L	291	212	57	1207	221
Ba	μg/L	39	9.9	0.64	547	93
B	μg/L	232	146	39	946	194
Fe	μg/L	25	4.8	0.44	396	61
Mn	μg/L	17	0.30	0.06	573	80
Ca ²⁺	mg/L	33	22	7.9	179	34
Mg ²⁺	mg/L	8.3	7.7	3.4	29	4.4
Na ⁺	mg/L	19	17	7.9	37	6.6
K ⁺	mg/L	15	16	1.4	37	9.6
F ⁻	mg/L	0.59	0.38	0.05	4.2	0.65
Cl ⁻	mg/L	17	13	7.5	45	9.0
Br ⁻	mg/L	68	64	24	188	26
NO ₃ ⁻	mg/L	14	11	0.10	54	13
SO ₄ ²⁻	mg/L	14	8.9	2.3	162	23
HCO ₃ ⁻	mg/L	159	120	44	550	98
SiO ₂	mg/L	30	30	12	46	7.3

Un successivo studio di statistica multivariata (analisi dei componenti principali “PCA”) eseguito dagli stessi autori sull’intero set di dati (Spaziani, 2010), ha consentito di distinguere i campioni in quattro gruppi ben differenziati per caratterizzazione geochimica:

- A: acque termali, caratterizzate da valori estremi per numerosi parametri;
- B: acque fredde campionate nell’acquifero vulcanico e contraddistinte da alte concentrazioni di As, B, F⁻, U;
- C: acque fredde circolanti nei sedimenti quaternari, caratterizzate da elevate concentrazioni di Ca²⁺, HCO₃⁻, Cl⁻ nonché da alte EC;
- D: acque fredde circolanti nell’acquifero vulcanico ma che, a differenza di quelle del gruppo B, non presentano valori particolarmente elevati per più parametri chimici.

I suddetti gruppi sono ben distinguibili graficamente (Figura 17) sulla base di tre componenti principali (PC1, PC2 e PC3), ovvero variabili normalizzate definite dallo studio citato come opportune funzioni lineari di tre diversi gruppi di parametri analizzati.

Tabella 41 – Statistica descrittiva dei campioni di acque termali (N = 5) analizzati nel 2007 per il progetto di ricerca Università della Tuscia/ ENEA (modificato da Spaziani, 2010)

Analita	UdM	MEDIA	Mediana	Minimo	Massimo	Dev. STD.
T	°C	57	57	54	60	2.2
EC	μS/cm	2978	2870	2780	3230	224
pH	Unità pH	7.0	6.6	6.4	8.1	0.72
Eh	mV	-118	-138	-181	9.7	74
As	μg/L	305	329	176	371	75
U	μg/L	0.07	0.07	0.06	0.09	0.01
V	μg/L	0.69	0.73	0.28	0.95	0.28
Sb	μg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
Rb	μg/L	130	130	124	135	4.6
Sr	μg/L	15506	15273	14441	16725	937
Ba	μg/L	38	36	35	44	3.8
B	μg/L	1001	964	939	1107	70
Fe	μg/L	13	3.9	3.3	50	20
Mn	μg/L	19	16	14	27	5.3
Ca ²⁺	mg/L	596	561	530	690	78
Mg ²⁺	mg/L	144	141	122	160	15
Na ⁺	mg/L	32	32	32	33	0.61
K ⁺	mg/L	30	29	28	31	1.4
F ⁻	mg/L	2.8	2.8	2.6	3.0	0.17
Cl ⁻	mg/L	12	12	11	13	0.49
Br ⁻	mg/L	56	60	10	90	30
NO ₃ ⁻	mg/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ²⁻	mg/L	1369	1320	1080	1600	218
HCO ₃ ⁻	mg/L	969	1018	786	1037	105
SiO ₂	mg/L	24	23	22	27	1.9

I risultati dell'analisi multivariata, integrati con le conoscenze idrogeologiche dell'area in esame, non solo confermano l'origine geogenica dell'arsenico nelle acque sotterranee del sistema cimino-vicano, ma consentono di definire la distribuzione spaziale dell'elemento, sintetizzata in Figura 18, e ben supportano, infine, il modello concettuale proposto dagli autori per giustificarla.

Come evidente in figura, il bacino del lago di Vico, oggetto del presente piano della caratterizzazione, ricade all'interno di una fascia che dall'area idrotermale si estende in direzione NW-SE e risulta compresa tra le isoplete di concentrazione 20 e 100 μg/L.

In tale porzione l'acquifero basale è impostato ad Ovest su Flysch semipermeabili di ridotto spessore e variamente fagliati e, ad Est, su formazioni scarsamente permeabili (sedimenti marini Plio-Pleistocenici) ma interessate da profonde fratture vulcano-tettoniche localizzate soprattutto in corrispondenza del lago di Vico; tale situazione stratigrafica favorisce la risalita

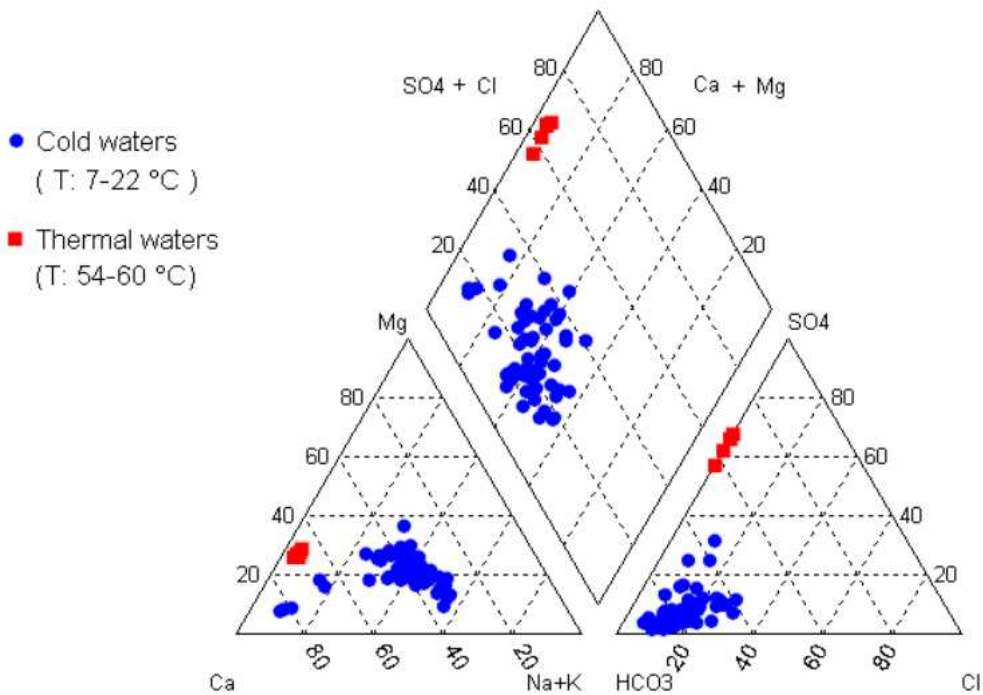


Figura 16 – Diagramma di Piper per le due tipologie di campioni analizzati nel 2007 nell’ambito del progetto di ricerca Università della Tuscia/ ENEA (modificato da Spaziani, 2010)

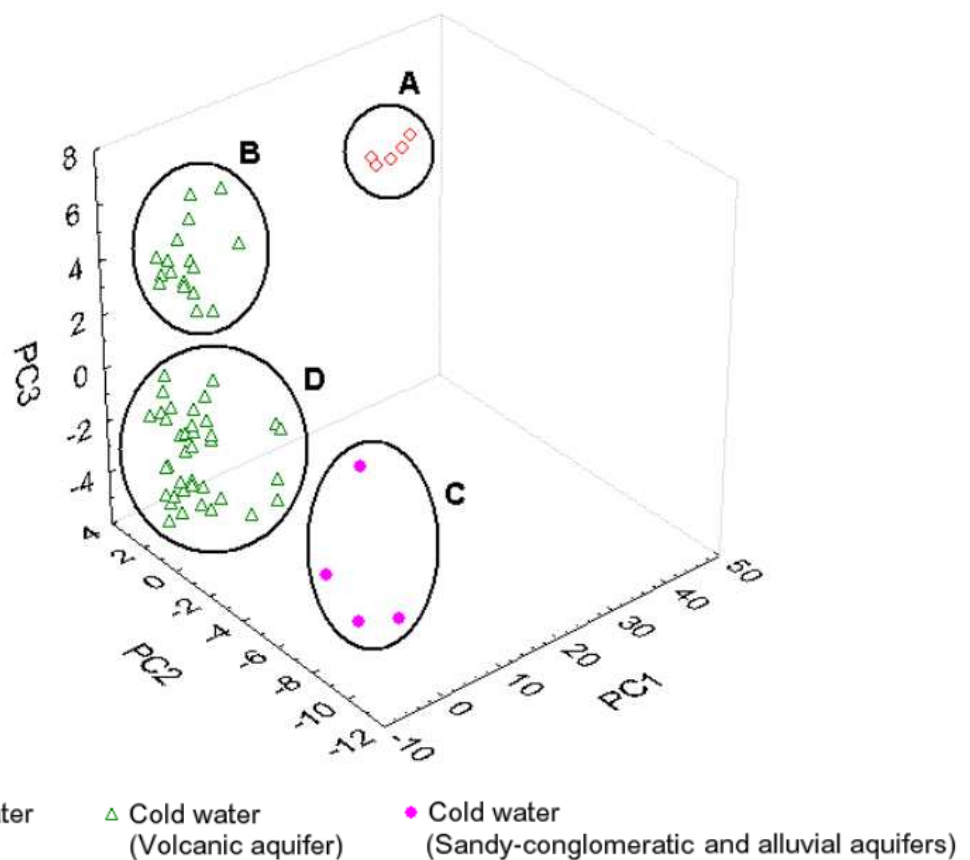


Figura 17 – Scatterplot 3D dell’analisi statistica multivariata (PCA) condotta sui campioni del 2007 dall’Università della Tuscia/ ENEA (modificato da Spaziani, 2010)

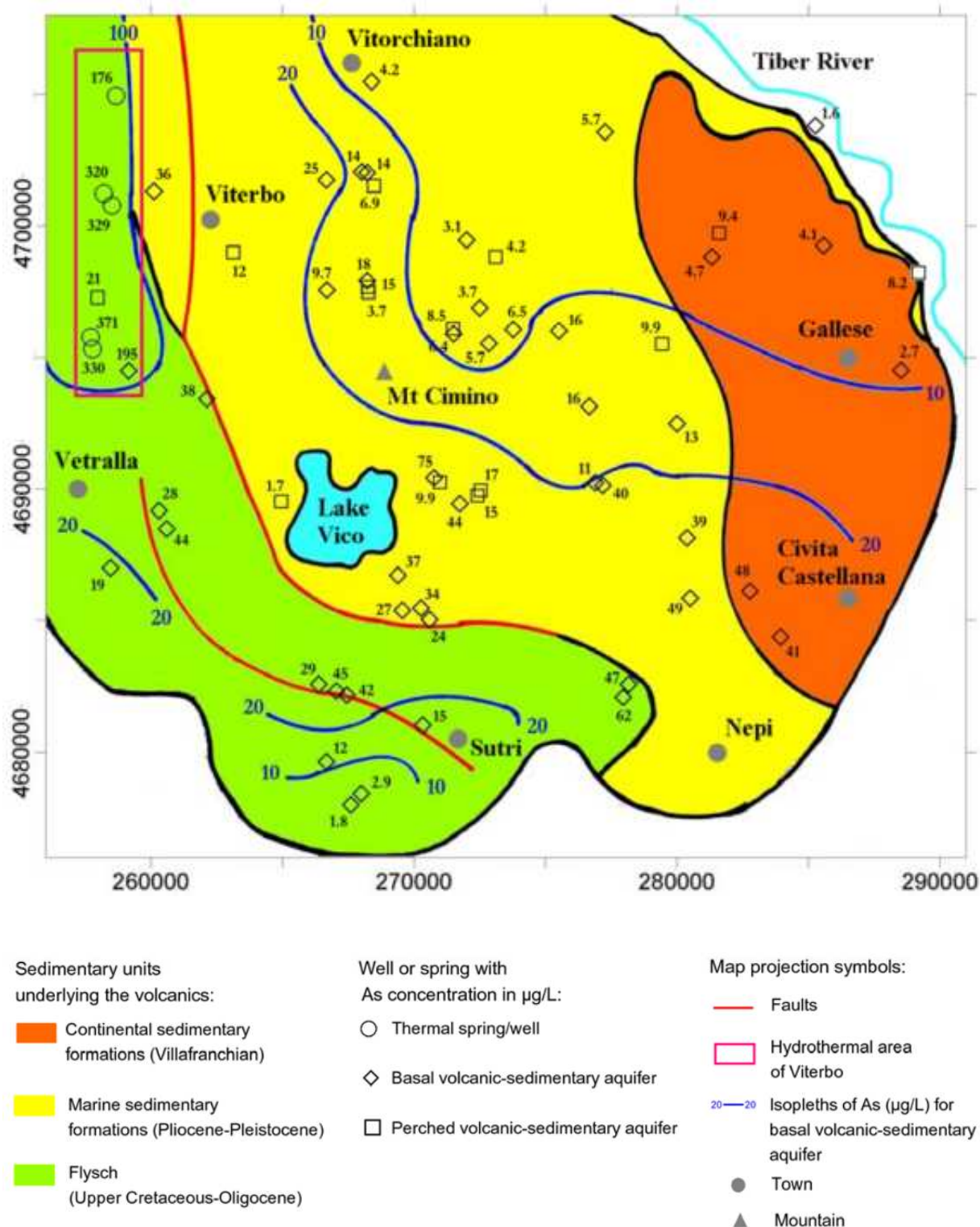


Figura 18 – Distribuzione spaziale dell’arsenico nelle acque sotterranee dell’area cimino-vicana; in evidenza i punti di campionamento dell’indagine 2007 (Università della Tuscia / ENEA) e le unità sedimentarie a letto dell’acquifero (modificato da Spaziani, 2010)

di fluidi idrotermali ed il processo di mescolamento che costituisce la principale causa della presenza di arsenico. Nello studio già citato il contributo della mineralogia alla presenza di arsenico è definito “assai minore” rispetto a quello stratigrafico appena descritto, sebbene indiscutibile e non trascurabile, soprattutto nella zona meridionale dell’area in esame.

Si riscontra, a proposito, un sensibile arricchimento in arsenico delle acque circolanti nelle vulcaniti Vicane rispetto a quelle circolanti nelle vulcaniti Cimine, sebbene le cause di tale fenomeno siano al momento da approfondire.

A titolo di esempio si riporta, in Tabella 42, la composizione chimica elementare media dell'ignimbrite C, come riportata nella tesi di dottorato (Vivona, 2004) descrittiva di un'approfondita ricerca svolta dall'Università "La Sapienza" e l'IRSA-CNR di Roma.

Tabella 42 – Composizione chimica elementare dell'Ignimbrite C (modificato da Vivona, 2004)

Elemento	Conc. (% w/w) [ppm]	Elemento	Conc. (% w/w) [ppm]
F	910	Rb	982
Cl	230	Sb	4
S	420	As	34
U	22	Cr	18
Th	95	Co	5
Zr	619	Ni	3
Hf	12	Sc	3
Ta	2	La	133
Ba	1127	Eu	3
Sr	1750	Tb	1
Cs	48		

Il contributo di specifici processi geochimici in grado (teoricamente) di influenzare il contenuto in arsenico delle acque sotterranee, quali la dissoluzione ossidativa di solfuri e il desorbimento da ossidi di ferro e manganese, è stato giudicato "trascurabile" (Spaziani, 2010) nell'area Cimino-Vicana sulla base di condivisibili considerazioni dettate dagli esiti delle indagini del 2007.

4 MODELLO CONCETTUALE PRELIMINARE

Come previsto nell'allegato 2 al titolo V della parte quarta del T.U. ambientale, "*Criteri generali per la caratterizzazione dei siti contaminati*", sulla base dei dati esistenti (cap. 3) e preliminarmente alla definizione del piano di indagine (cap. 5), è necessario formulare un "*modello concettuale preliminare del sito*" (MCPS), ovvero una schematizzazione che consenta di individuare:

- le potenziali fonti di contaminazione, attive o meno, puntuali e/o diffuse, antropiche e/o naturali;
- le sostanze contaminanti probabilmente presenti nelle diverse matrici ambientali e le loro peculiarità chimico-fisiche e tossicologiche;
- l'estensione, le caratteristiche e lo stato di qualità preliminare delle matrici interessate dal fenomeno di contaminazione;
- i potenziali recettori-bersagli e le loro caratteristiche, i percorsi di migrazione dalle sorgenti di contaminazione e le possibili vie di esposizione.

Solo in seguito all'integrazione dei risultati dei campionamenti, delle analisi chimico-fisiche e delle altre attività di indagine previste dal piano, potrà essere definito un realistico "*modello concettuale definitivo del sito*" (MCS), fondamentale per l'implementazione di una corretta analisi del rischio sanitario-ambientale e necessario ai fini della progettazione di qualità di eventuali interventi di bonifica o messa in sicurezza.

Rispetto ai siti contaminati abitualmente considerati dalla normativa in materia di bonifiche, nel caso oggetto di studio si riscontra un'oggettiva difficoltà nella definizione del MCPS, dovuta sia all'estensione del sito sia alle sue particolarissime caratteristiche morfologiche, geologiche ed idrogeologiche; un ulteriore e fondamentale elemento che contribuisce alla definizione del MCPS, complicandone l'impostazione, è costituito dalla particolarità della matrice che è risultata interessata da contaminazione al momento dell'attivazione della procedura ai sensi di legge (sedimento di fondo lago, correlabile per composizione ai terreni superficiali interni al bacino, a loro volta caratterizzati da superamenti dei limiti di legge, occasionali per alcuni parametri, sistematici per altri).

I dati ad oggi disponibili, derivanti da attività di indagine (pregresse e in corso) con diverse caratteristiche e finalità (cfr. cap. 3), consentono di ipotizzare la copresenza di diverse tipologie di potenziali sorgenti di contaminazione:

- antropiche diffuse, correlabili all'utilizzo di fitofarmaci e nutrienti in attività agricole relativamente recenti che interessano buona parte dei terreni interni al bacino (principalmente coltivazione del nocciolo);
- antropiche puntuali, correlabili alla presenza di insediamenti turistico-residenziali e/o alle attività svolte all'interno dell'ex Magazzino Materiali Difesa NBC (ubicato sulla sponda sud del lago, nel comune di Ronciglione, attivo dalla fine degli anni '30 ai primi anni '80);
- naturali, correlabili al particolare contesto geologico e idrogeologico che caratterizza il sito (elevati valori di fondo nella matrice delle rocce affioranti nel bacino, presenza di

mineralizzazioni, arricchimenti ascrivibili a locali venute idrotermali con chimismi “*estremi*”, etc.)

Sulla base dei dati ad oggi disponibili, tenuto conto della normativa di riferimento per i siti contaminati (D.Lgs. 152/2006, Titolo V della Parte Quarta e s.m.i), le matrici ambientali interessate dalla presenza di contaminanti con concentrazioni superiori ai valori limite CSC, risultano essere:

- terreni (suolo e sottosuolo) interni al bacino idrografico, in relazione ad un uso “*verde pubblico e residenziale*”;
- acque sotterranee (e quelle superficiali direttamente alimentate);
- sedimenti di fondo lago²⁰.

Si riporta di seguito una sintesi per matrice ambientale dei risultati più significativi delle indagini effettuate sull’area in esame, già dettagliate nel capitolo precedente.

Relativamente a suolo e sottosuolo, le analisi dei terreni prelevati nell’area settentrionale del bacino lacustre, hanno evidenziato la presenza dell’Arsenico in concentrazione maggiore alle CSC di riferimento in tutti i campioni analizzati, senza una evidente differenziazione tra i campioni più superficiali e più profondi. Il tenore più elevato di 190 mg/kg è stato rilevato sul campione prelevato tra 1 e 2 m di profondità nell’area di Pantanacce, mentre i valori più bassi (compresi tra 24 e 29 mg/kg) sono relativi ai campioni prelevati sulle pendici meridionali di Monte Venere.

I dati a disposizione relativi all’area dell’ex Magazzino Materiali Difesa NBC (20 campioni di terreno su 10 punti di indagine), ubicata al margine meridionale del bacino lacustre, evidenziano il superamento dei limiti normativi per il parametro Arsenico su 3 campioni prelevati in 2 punti di indagine, nonché il superamento dei limiti per il parametri Zinco, PCE, e di alcuni IPA su un solo campione superficiale.

Relativamente alle acque superficiali, i monitoraggi periodici effettuati da ARPA Lazio sul lago hanno evidenziato la presenza dell’Arsenico in tutti i campioni analizzati, con concentrazione media di circa 15 µg/L; il valore più elevato di 31 µg/L è stato osservato su un campione d’acqua prelevato in prossimità del fondo lago, in corrispondenza della zona di massima profondità nel periodo di massima stratificazione.

Confrontando i risultati dei prelievi superficiali, le concentrazioni di Arsenico risultano sensibilmente superiori alla media in corrispondenza della stazione di monitoraggio “Lido Fogliano”, ubicata nell’area Nord-occidentale del lago.

Come riportato nella sintesi delle attività di indagine pregresse (cfr. cap. 3), tra febbraio 2009 e gennaio 2010 è stata rilevata occasionalmente la presenza del Mercurio in 4 campioni, con il valore più elevato (2 µg/L) in corrispondenza della stazione di campionamento di “Lido Fogliano”. Nel corso della campagna di monitoraggio del giugno 2009, nelle stazioni litoranee meridionali e nella stazione di “*Centro Lago*”, sia in superficie che in profondità, è stata riscontrata la presenza di tetracloruro di carbonio e di percloroetilene al di sopra dei limiti di rilevabilità delle metodiche applicate e, esclusivamente nella stazione di “*Centro Lago*”, anche di benzo(k)fluorantene.

²⁰ Assimilati ai suoli in assenza di riferimenti normativi specifici

Nelle campagne di campionamento dell'ottobre 2010 e dell'aprile 2011 è stata rilevata la presenza di Atrazina in 6 campioni su 10 prelevati. Nell'approfondimento di indagine di luglio 2010, infine, è stata rilevata la presenza di Cromo nella stazione di monitoraggio "500 m sin. Punta del Lago" (15 µg/L), di Simazina nella stazione di "Riva Fiorita" (2.2 µg/L) e di Endrin nella stazione di "Lido Fogliano" (2.6 µg/L).

Relativamente alle acque sotterranee, i dati a disposizione nell'area di studio relativi alle analisi eseguite dall'ARPA Viterbo evidenziano la presenza dell'Arsenico in tenore compreso tra 40 e 50 µg/L nelle acque della sorgente "La Concia" ubicata a circa 4 km a valle idrogeologica del bacino lacustre e la presenza di Terbutilazina (2 µg/L) in un solo campione prelevato dal pozzo S. Rocco ubicato nell'area orientali del bacino lacustre.

Il quadro generale della presenza di arsenico nelle acque sotterranee dell'area Viterbese, in cui rientra il bacino oggetto di studio, è ben definito da articolati studi a carattere accademico (cfr. par. 3.3.4) che, tra l'altro, ne attribuiscono l'origine principalmente a fenomeni di mescolamento con acque termali risalenti direttamente dal serbatoio profondo.

Le analisi eseguite sui sedimenti di fondo lago hanno evidenziato la presenza di Arsenico in tutti i campioni analizzati in concentrazioni variabili tra 127 mg/kg in corrispondenza della stazione di campionamento "La Scaletta" e 647 mg/kg in corrispondenza della stazione di campionamento "Centro Lago". Inoltre è stata rilevata la presenza del Cadmio in concentrazione di 2.5 mg/kg in corrispondenza della stazione "La Scaletta" e 12 mg/kg in corrispondenza della stazione "Centro Lago". Per finire è stata rilevata la presenza del Nichel solo in corrispondenza della stazione "Centro Lago" in concentrazione di 566 mg/kg e di Piombo in concentrazione di 104 mg/kg solo nella stazione "Lido Fogliano".

Posto che i suddetti dati confermano l'ipotesi della copresenza di sorgenti naturali e antropiche (diffuse e puntuali) di contaminazione, la necessità di definire quantitativamente gli elementi del MCS (fonti, percorsi e bersagli) impone particolare attenzione sia nella caratterizzazione delle aree in cui sono state svolte attività antropiche a rischio, sia nella pianificazione ed esecuzione di uno studio finalizzato alla determinazione dei valori di fondo naturale.

Il complesso equilibrio tra le matrici ambientali oggetto di studio, inoltre, sarà indagato in maniera indiretta con l'implementazione di modelli numerici geochimici ed idrogeologici, calibrati sulle nuove acquisizioni, al fine di discriminare i contributi antropici e/o naturali al fenomeno per cui si è attivata la procedura (arricchimento in Arsenico dei sedimenti di fondo lago), nonché chiarirne i meccanismi ed indirizzare eventuali future attività di intervento.

Nei sottoparagrafi che seguono sono sinteticamente descritti gli elementi che concorrono alla definizione del MCPS, ipotizzati sulla base dei dati al momento disponibili.

4.1 Potenziali sorgenti di contaminazione: origine antropica

In Figura 19 sono rappresentate tre macro aree di potenziale pressione antropica, corrispondenti alle tre tipologie di sorgenti di contaminazione ipotizzate nel paragrafo precedente. Le tre macro aree sono state costruite accorpando le unità minori riportate sulla carta dell'uso del suolo più dettagliata e aggiornata disponibile, previa verifica sul campo e presso i centri documentali competenti.

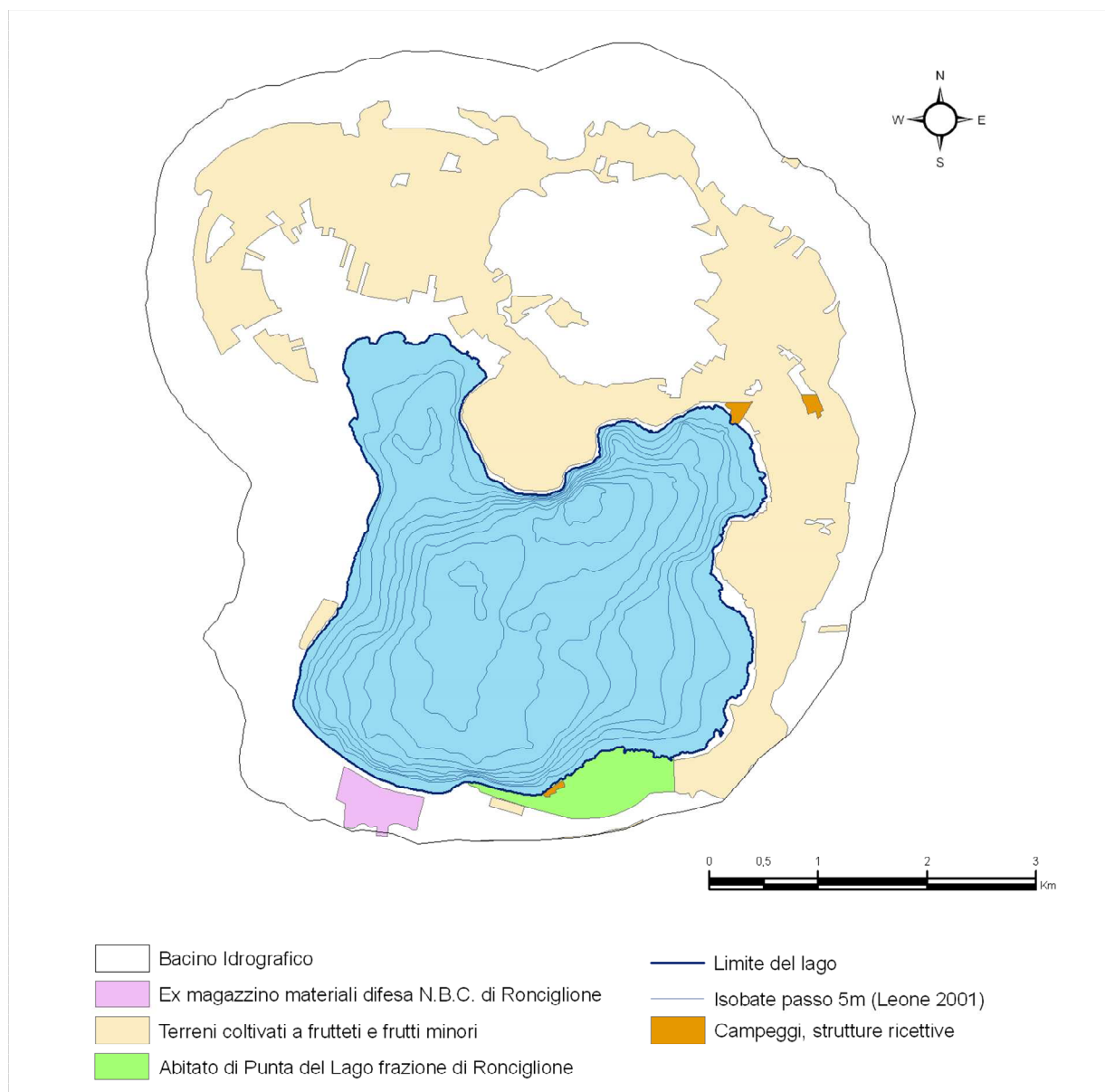


Figura 19– Carta delle potenziali pressioni antropiche

All'interno del bacino idrografico del lago di Vico, oggetto del presente piano di caratterizzazione, non sono presenti (né risulta lo siano state in passato) attività industriali di rilevabile impatto ambientale.

Inoltre è stato verificato, come risulta dal P.R.A.E. (Piano Regionale delle Attività Estrattive) del 2007 (Tav. 12/41), che all'interno dell'area di studio non sussistono impianti di lavorazione, concessioni minerarie, attività estrattive o miniere (in esercizio e/o non più attive), di cui sia possibile reperire documentazione amministrativa; sono identificabili,

tuttavia, 6 punti nel comune di Caprarola e uno nel comune di Ronciglione corrispondenti ad aree estrattive di cui non è possibile reperire documentazione amministrativa “*da fonti bibliografiche e con ubicazione incerta*”; presumibilmente si tratta di attività esplorative di limitata estensione e durata, svolte nel passato (Spaziani, 2010) per la valutazione di ipotesi di sfruttamento di mineralizzazioni tipiche delle locali vulcaniti. I risultati di approfondimenti di indagine sull’argomento verranno integrati nel modello concettuale definitivo.

4.1.1 Attività agricole

Il lago di Vico ricopre un ruolo importante nell’economia della provincia Viterbese, sia per quanto riguarda il settore agricolo che quello turistico.

Nel settore agricolo, la provincia della Tuscia insieme alle provincie di Roma, Cuneo, Avellino, Napoli e Messina rappresenta più dell’80% dell’intero territorio nazionale destinato alla coltivazione delle nocciole, di cui il lago di Vico, o meglio le aree circumlacuali, sono parte integrante in quanto sede di coltivazioni intensive del nocciolo.

Altra cultivar di interesse per l’area del lago di Vico è quella del castagneto da frutto, anche se questi impianti sono presenti limitatamente alla zona sommitale della caldera del lago.

Le suddette attività hanno sicuramente generato delle pressioni antropiche, quale naturale conseguenza della consuetudine ad utilizzare prodotti fitosanitari (agrofarmaci o fitofarmaci) al fine di combattere le principali avversità delle piante (malattie infettive, fisiopatie, parassiti e fitofagi animali, piante infestanti), nonché concimi e ammendanti utilizzati al fine di incrementare la produzione.

Il massiccio uso sia di prodotti fitosanitari, in cui è nota fino agli anni '90 la presenza di composti a base di arsenico, che di concimi a base di fosforo e nitrati, potrebbe aver causato un elevato accumulo di queste sostanze nel terreno e quindi, attraverso i fenomeni di lisciviazione ed erosione, aver raggiunto il bacino lacustre.

Considerata la notevole estensione dell’area destinata a coltivazione rispetto a quella delle altre attività, risulta evidente che gli apporti derivati da tali pratiche possono essere stati considerevoli nel bilancio complessivo del sistema lacustre.

4.1.2 Attività Residenziali/Turistico Commerciali

Per quanto riguarda l’attività residenziale/turistica sul lago, l’area di maggiore interesse è costituita dalla lottizzazione turistica sviuppata in località Punta del Lago a partire dagli anni '70. Da informazioni reperite presso gli uffici comunali di Ronciglione e dal catasto degli scarichi redatto dalla Provincia di Viterbo, è stato appurato che solo negli ultimi anni gran parte della suddetta località si è dotata di un sistema di collettamento delle acque reflue civili; tuttavia ancora oggi alcune strutture abitative e/o intere zone risultano non allacciate alla condotta comunale, provvedendo allo smaltimento dei reflui prodotti attraverso sistemi di sub – irrigazione.

La mancanza di un adeguato sistema di collettamento delle acque luride ha determinato negli anni, e determina ancora oggi, un elevato impatto sull’ecosistema del lago, in quanto data la vicinanza delle civili abitazioni e delle strutture turistiche alle sponde del lago, una non corretta regimentazione delle acque di rifiuto potrebbe generare un eccessivo apporto di nutrienti nonché di batteri come gli *Escherichia coli* (i quali rappresentano i principali indicatori di contaminazione fecale), alle acque del lago.

Tutti gli stabilimenti balneari presenti sulle rive del lago sono attualmente dotati di vasche a tenuta sulle quali la Provincia di Viterb ha effettuato delle prove per verificarne efficienza e integrità, con esito positivo.

Per quanto riguarda invece le strutture alberghiere, esse risultano allacciate a collettori comunali o dotate di vasche la cui tenuta è stata positivamente testata dalla Provincia.

4.1.3 Attività svolte nell'area Ex Magazzino NBC di Ronciglione

Come riportato dettagliatamente nel par. 3.3.1, nel marzo 2010 il Centro Tecnico Logistico Interforze N.B.C. ha acquisito i risultati di una campagna di indagini indirette (geofisiche) e dirette (carotaggi con campionamento e analisi di terreni) commissionata dal Ministero della Difesa alla società SO.IN.G. s.r.l., finalizzata alla ricerca di masse anomale interrato presso l'ex Magazzino Materiali ubicato a Ronciglione (VT); tali indagini non hanno però escluso l'ipotesi che, durante il ritiro delle truppe tedesche, siano stati smaltiti nel lago contenitori adibiti allo stoccaggio di sostanze potenzialmente contaminanti i quali, qualora presenti, costituirebbero potenziali sorgenti puntuali di contaminazione.

I risultati delle indagini sopra citate hanno portato all'avvio del procedimento di bonifica, per cui il Centro Tecnico Logistico Interforze N.B.C., in qualità di gestore del sito, ha effettuato la comunicazione prevista dall'Art. 245 del D.Lgs. 152/06 a Regione, Provincia e Comune di Ronciglione con nota Prot. n. 1/37 Cod.id.I Ind.cl.10.12.6.3. del 25 marzo 2010.

Si sottolinea che gli esiti della caratterizzazione dell'area verranno acquisiti e integrati con quelli risultanti dalle attività previste nel presente piano, al fine di definire un completo modello concettuale, per quanto articolato e "inusuale", senza escludere a priori alcuna possibile sorgente e/o percorso di contaminazione.

4.2 Potenziali sorgenti di contaminazione: origine naturale

Come ampiamente discusso nel par. 3.3.4 la presenza del parametro arsenico nelle acque sotterranee nell'area Cimina-Vicana, così come dimostrato dai più recenti e autorevoli studi, è principalmente legata alla risalita di fluidi profondi derivanti dall'attività idrotermale attiva nella zona in esame.

Per quanto concerne la presenza dei contaminanti nel sedimento lacustre (par. 3.2.2) e nei terreni circumlacuali (par. 3.2.3), al momento non è possibile dimostrare una correlazione tra la presenza di questi contaminanti e il particolare contesto geologico che caratterizza l'area di studio, pertanto a valle dell'esecuzione del piano di indagine proposto sarà possibile discriminare l'importanza della componente naturale da quella antropica.

4.3 Definizione dei potenziali COCs

Come si evince dall'analisi eseguita sui dati acquisiti nelle precedenti campagne d'indagine svolte nel bacino lacustre di Vico, i contaminanti potenzialmente riscontrabili nelle diverse matrici ambientali risultano numerosi. In considerazione del fatto che la valutazione della presenza della maggior parte di essi richiede un approfondimento di indagine, si ritiene opportuno in questa fase, analizzare le principali caratteristiche dei contaminanti che hanno portato all'avvio del procedimento di bonifica.

La contaminazione da *Arsenico nelle acque sotterranee*, è stata ed è ancora oggi oggetto di molti studi scientifici; l'interesse per questa problematica è legato agli effetti tossicologici

acuti specialmente su lungo termine, purtroppo riscontrati nelle popolazioni consumatrici di acque a elevato tenore di arsenico.

In ambiente acquatico l'Arsenico può esistere in 4 stati di ossidazione (-3, 0, +3, +5) e in forma inorganica o organica, le specie predominanti nelle acque sotterranee sono l'Arsenico pentavalente (As^V) e trivalente (As^{III}), in forma inorganica.

Dal punto di vista chimico l'Arsenico è molto simile al suo omologo, il Fosforo, al punto che lo sostituisce parzialmente in alcune reazioni biochimiche, da cui il suo effetto tossico. Il potenziale effetto tossico dell'arsenico sulla salute umana dipende dalla tipologia di composto chimico (inorganico o organico) e dallo stato di ossidazione con cui esso si presenta nell'acqua; in particolare i composti dell'arsenico trivalente [$As(III)$], soprattutto inorganici, risultano più tossici e persistenti dei composti pentavalenti.

L'esposizione ad Arsenico inorganico può causare vari effetti sulla salute, quali irritazione dello stomaco e degli intestini, produzione ridotta di globuli rossi e bianchi del sangue, cambiamenti della pelle e irritazione dei polmoni. Si ipotizza che l'assorbimento di quantità specifiche di Arsenico inorganico possa intensificare le probabilità di sviluppo del cancro, soprattutto la probabilità di sviluppo di cancro della pelle, di cancro polmonare, di cancro al fegato e di cancro linfatico.

Il *Cadmio* è un metallo pesante che penetra nell'ambiente sia da fonti naturali, come le emissioni vulcaniche e l'erosione delle rocce, sia dalle attività industriali e agricole. L'utilizzo del cadmio nell'attività industriali è essenzialmente legato all'utilizzo dello stesso come elettrodo nelle batterie ricaricabili, mentre nella sua forma ionica viene principalmente usata come pigmento. Un'altra fonte importante di emissioni di cadmio è la produzione e l'utilizzo di fertilizzanti artificiali a base di fosfati, contenenti cadmio in forma ionica, in quanto il cadmio è fortemente assorbito dalla materia organica nel terreno, in particolare i terreni acidificati aumentano l'assorbimento del cadmio da parte delle piante.

Il cadmio deriva le sue proprietà tossicologiche proprio dalla sua somiglianza chimica allo zinco, un micronutriente essenziale per le piante, gli animali e gli esseri umani; è tossico innanzitutto per i reni, ma può causare anche demineralizzazione ossea ed è stato classificato come cancerogeno per gli esseri umani dall'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro.

Il *Nichel* in combinazione con altri elementi si presenta naturalmente nella crosta terrestre, si trova in tutto il suolo, ed è anche emesso dai vulcani. Il Nichel può essere rilasciato nell'ambiente dalle pile di grandi impianti di combustione utilizzati per produrre leghe e superleghe, o dalle centrali elettriche e inceneritori di rifiuti. La maggior parte dei composti del Nichel liberati nell'ambiente è assorbita da sedimenti o particelle del terreno per diventare immobile; tuttavia, nei terreni silicei, può diventare più mobile e spesso fluisce nell'acqua freatica, va sottolineato comunque che il nichel non è noto per accumularsi nelle piante e negli animali.

In natura si può trovare unito con l'arsenico nel minerale *Niccolite*, che come noto si forma nei filoni idrotermali di alta temperatura; la niccolite è un minerale di arsenico composto di arseniuro e nichel e piccole quantità di cobalto, antimonio, ferro e zolfo.

Ai fini della salute umana l'agenzia internazionale per ricerca sul cancro (IARC) ha collocato i composti del Nichel all'interno del gruppo 1 (esiste evidenza sufficiente di carcinogenicità per gli esseri umani) ed il Nichel all'interno del gruppo 2B (agenti che possono essere cancerogeni per gli esseri umani).

Il *Piombo* nativo è molto raro in natura poiché la sua formazione richiede condizioni ambientali assai particolari, tuttavia come dimostra anche uno studio condotto nel sito di interesse nazionale della Valle del Sacco finalizzato alla *determinazione dei valori di fondo naturale per metalli e metalloidi* (Ing. Antonella Vecchio, Dott. Gianluca Pirani ISPRA, 2010) la presenza di Piombo e Arsenico possono associarsi ad origini vulcaniche.

Tuttavia l'uso di benzine contenenti piombo che ha caratterizzato il secolo scorso ha portato l'inquinamento da piombo a livelli senza precedenti nella storia: nei motori delle automobili viene bruciato piombo, che porta all'inizio della formazione di sali di piombo, che entrano nell'ambiente attraverso gli scarichi delle automobili. Le particelle più grandi finiscono immediatamente sul terreno o nell'acqua superficiale, mentre le particelle più piccole attraversano lunghe distanze in atmosfera per poi ricadere sulla terra sotto forma di pioggia.

Negli esseri umani l'esposizione al piombo può provocare una vasta gamma di effetti biologici a seconda del livello e della durata di esposizione. Alti livelli di esposizione possono provocare effetti biochimici tossici negli esseri umani. A concentrazioni intermedie vi è prova convincente che il piombo può avere leggeri effetti infraclinici.

4.4 Potenziali percorsi di migrazione e bersagli

Considerando la natura dei contaminanti e le condizioni geomorfologiche al contorno, è possibile ipotizzare i seguenti percorsi di migrazione:

- mobilizzazione dei contaminanti attraverso il reticolo idrografico per l'erosione meccanica del terreno superficiale contaminato da parte degli apporti meteorici;
- lisciviazione del terreno contaminato da parte delle acque di infiltrazione e percolazione della fase soluta della contaminazione;
- trasferimento in fase dissolta dei microinquinanti dalle rocce del substrato verso la superficie per risalita di fluidi idrotermali con trasferimento della contaminazione alle acque sotterranee (mixing) e ai terreni e alle acque superficiali;
- trasferimento in fase dissolta dei microinquinanti dall'acquifero carbonatico profondo verso l'acquifero superficiale vulcanico per effetto della risalita di fluidi idrotermali;
- trasferimento della contaminazione dalla fase soluta alla fase adsorbita nei sedimenti fluviali e lacustri.

Sulla base di considerazioni geologiche, idrologiche e idrogeologiche, si può considerare l'acquifero vulcanico superficiale come primo *bersaglio* della contaminazione. Di conseguenza è lecito considerare come bersagli finali della contaminazione tutti gli utilizzatori della risorsa idrica tal quale e/o dei prodotti agricoli e ittici coinvolti nel ciclo di utilizzo delle acque sia superficiali che sotterranee.

5 PIANO D'INDAGINE

Al fine di valutare l'eventuale compromissione delle matrici ambientali nell'area oggetto del presente studio, verrà realizzata una campagna di indagine nell'ambito del bacino imbrifero del lago di Vico, finalizzata alla caratterizzazione delle seguenti matrici:

- suolo e sottosuolo;
- acque superficiali e sotterranee;
- sedimenti lacustri.

La campagna prevede l'esecuzione delle seguenti attività:

1. rilievo batimetrico e magnetometrico del lago di Vico;
2. monitoraggio idrochimico delle acque superficiali del lago di Vico, del fosso Scardenato e del Rio Vicano e misurazione delle portate delle due aste fluviali in diverse condizioni di flusso;
3. prelievi di campioni di suolo mediante micro carotaggi a percussione per la ricerca dei contaminanti eventualmente presenti e valutazione della conducibilità idraulica dei terreni investigati sui fori realizzati per il prelievo dei campioni;
4. prelievo di campioni di sedimento lacustre mediante un campionatore a caduta per la ricerca dei contaminanti eventualmente presenti e per la valutazione eco tossicologica;
5. ricostruzione geologico-stratigrafica dell'area di studio tramite la realizzazione di sondaggi geognostici spinti ad una profondità massima di 60 m dal p.c
6. monitoraggio 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.

Sulla base dei risultati ottenuti saranno implementati i modelli numerici idrogeologico e geochimico dell'area in esame, finalizzati alla rappresentazione delle dinamiche di flusso e di trasporto delle acque sotterranee e dei processi idrochimici lacustri.

5.1 Rilievo batimetrico e magnetometrico

A seguito della ricostruzione storica delle attività svolte sulle sponde del lago di Vico, con specifico riferimento alla presenza dell' Ex magazzino materiali difesa NBC, non è possibile al momento escludere la presenza di corpi sommersi correlabili ad attività non documentate.

La verifica della presenza di eventuali bersagli metallici giacenti sul fondale o sepolti negli orizzonti superficiali della coltre sedimentaria si intende prioritaria rispetto a qualunque altra attività; a tale scopo si prevede di realizzare un'indagine magnetometrica che abbia come obiettivo la misura di anomalie del parametro "susceptività magnetica", anomalie generate da oggetti o discontinuità ferromagnetiche in funzione della loro geometria, massa ferromagnetica e profondità.

L'esecuzione di un rilievo batimetrico di dettaglio consentirà di restituire un modello digitale (numerico) della superficie del fondale con risoluzione tale da apprezzare discontinuità morfologiche di interesse per la definizione del modello concettuale definitivo.

Il principio su cui si basa la tecnica di rilevamento è quello della trasmissione del suono da parte di una sorgente (ecoscandaglio), che una volta colpito il fondo rimbalza fino al sensore. L'elaborazione del tempo di viaggio necessario per compiere l'intero tragitto in andata e ritorno fornisce il dato di profondità. È necessario conoscere la velocità del suono nel mezzo (che varia con la densità dell'acqua, quindi indipendenza della sua temperatura, salinità e pressione) e disporre di orologi precisi per la misura del tempo. La posizione del sensore è fornita dal GPS installato sull'imbarcazione, che rileva le coordinate in modalità cinematica rispetto ad un punto fisso a terra.

Gli scandagli a singolo beam sono i più semplici e sono in grado di fornire un'immagine puntuale del fondale racchiusa in un cono di sezione variabile; quelli a multi beam (ad esempio a 100 beam) invece illuminano una porzione del fondo tale per cui durante il rilievo si ottengono dati continui sull'andamento della sua superficie.

Sulla base dei risultati di tali prospezioni geofisiche, si procederà ad una verifica ed eventuale ottimizzazione della definizione della maglia di campionamento dei sedimenti di fondo.

5.1.1 Metodologia applicata

Il rilievo batimetrico dovrà essere realizzato con un ecoscandaglio di tipo multi beam ad altissima risoluzione; si potrà utilizzare, a titolo di esempio, una strumentazione RESON SeaBat 8125, in grado di lavorare con segnali acustici ad una frequenza operativa di 455 kHz e caratterizzato da 240 beams complessivi, ciascuno di $0.5^\circ \times 1^\circ$ di ampiezza, in grado di emettere fino a 40 impulsi per secondo in acque molto basse.

La larghezza della spazzata, pari a 120° , permetterà così di investigare, con il trasduttore montato in posizione orizzontale, un corridoio ampio circa 3÷4 volte la profondità dell'acqua fino ad una profondità massima di 60 metri (Figura 20).

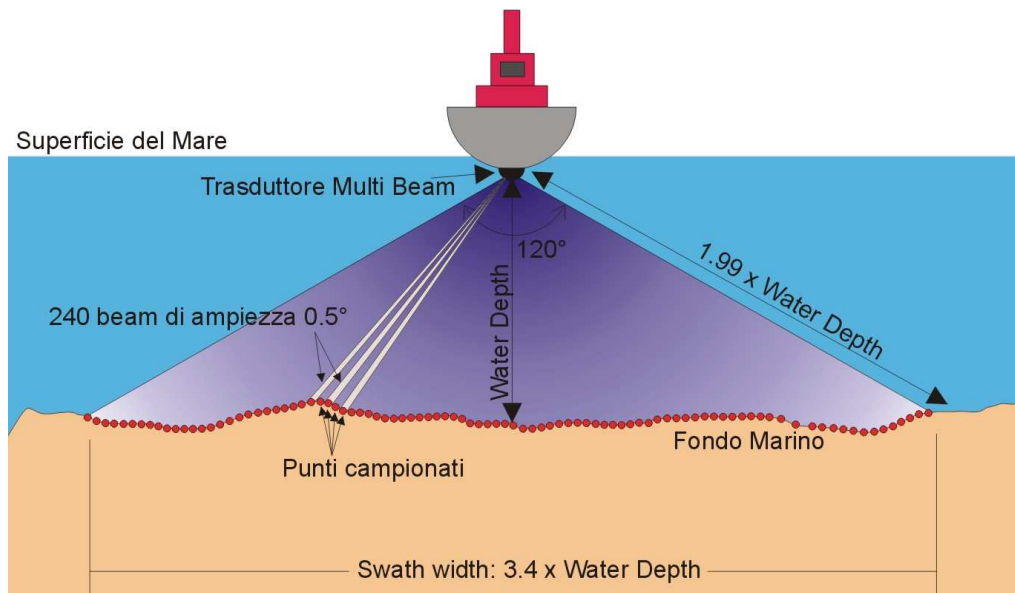


Figura 20– Schema della geometria di acquisizione del sistema multi beam

La densità dei punti campionati, variabile con la profondità e la distanza dal centro della spazzata, dovrà risultare non inferiore a 50 punti/m^2 per profondità inferiori a 10 m.

Al fine di rilevare in dettaglio le sponde del bacino in oggetto, il rilievo sarà eseguito con il trasduttore multi beam inclinato di 35° verso sinistra, la cui geometria di acquisizione è riportata in Figura 21 .

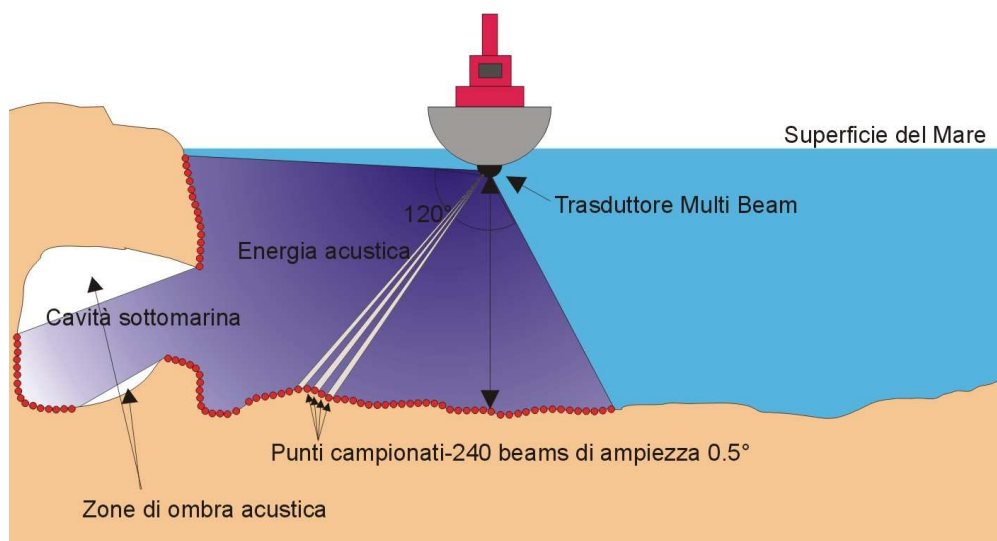


Figura 21– Schema della geometria di acquisizione con il trasduttore multi beam inclinato di 35°

Come visibile dalla Figura 21, con questa geometria di acquisizione è teoricamente possibile rilevare con grande dettaglio una parete sub verticale ed eventuali cavità presenti anche in prossimità della superficie dell'acqua, sebbene in particolari condizioni (conformazione e della profondità della cavità) non si possano escludere zone di ombra acustica (assenza di dati).

Si riportano di seguito alcuni esempi di elaborazioni grafiche tridimensionali relative a rilievi batimetrici di dettaglio eseguiti in laghi o acque interne del tutto simili al caso oggetto di studio, nonché immagini di anomalie (corpi, cumuli sommersi) rilevate.

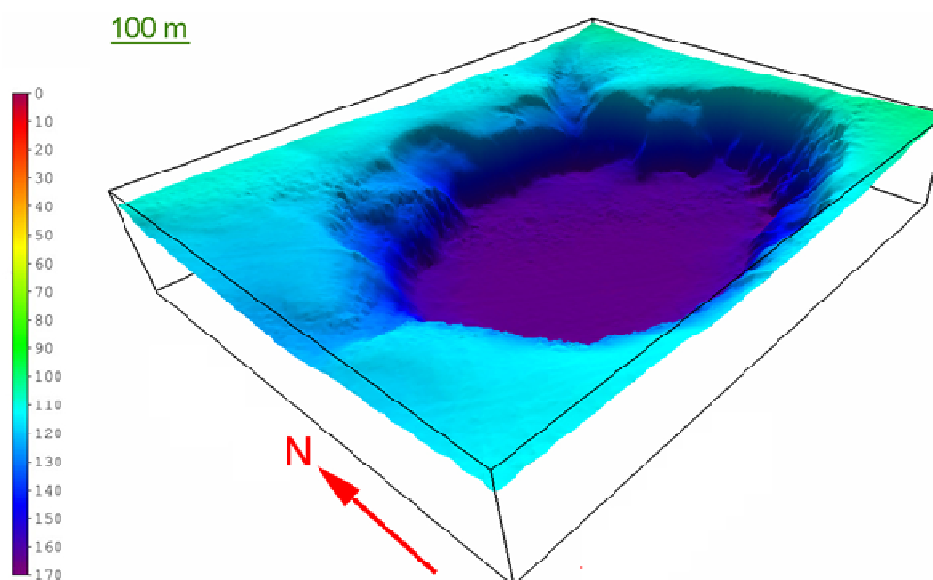


Figura 22– Elaborazione grafica dei risultati di un rilievo batimetrico di dettaglio: particolare della depressione rilevata sul fondo di un lago vulcanico simile a quello oggetto di studio

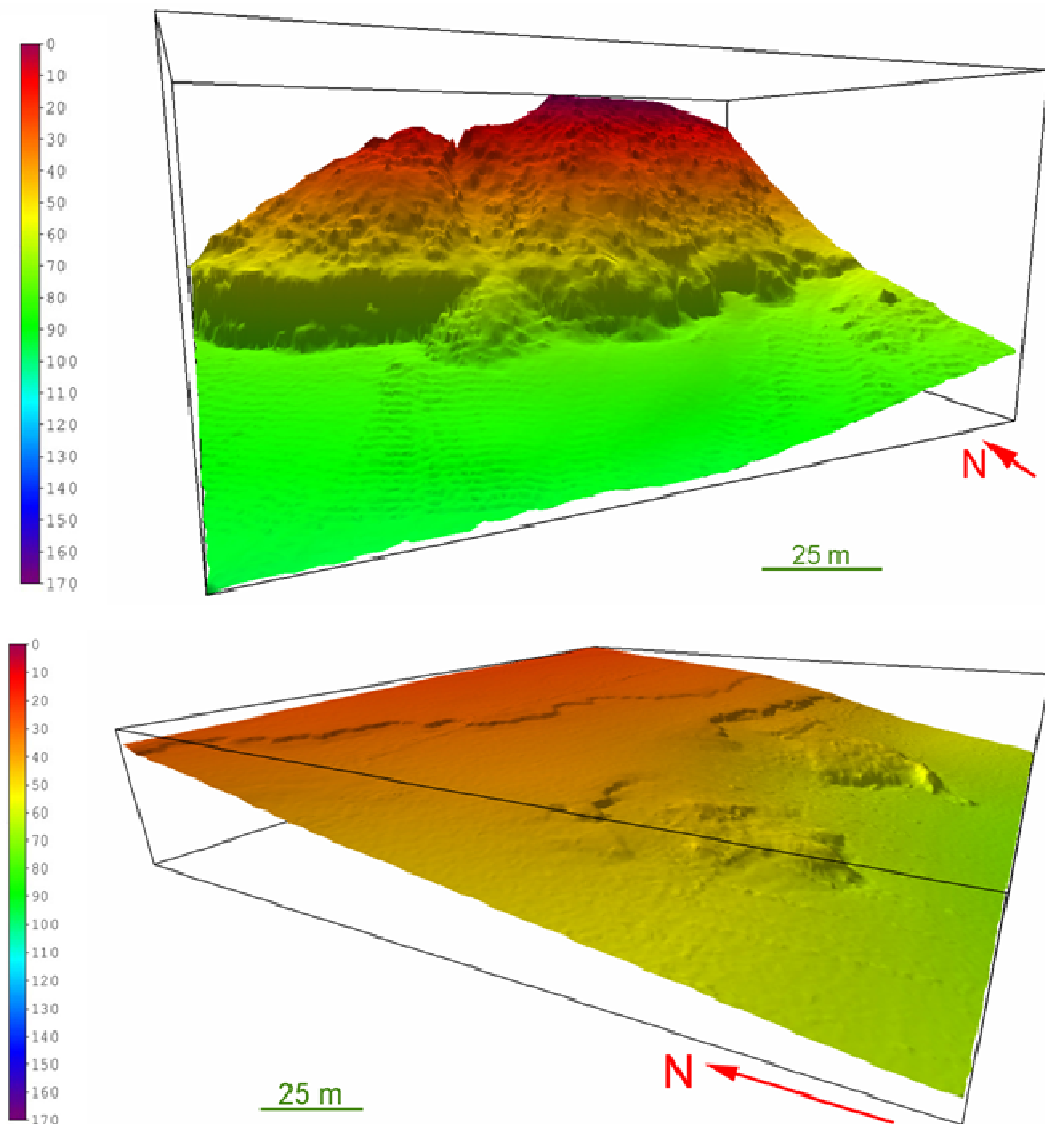


Figura 23– Elaborazione grafica dei risultati di un rilievo batimetrico di dettaglio: in alto, particolare di una sponda in frana; in basso, particolare di accumuli alla base della sponda del lago

5.2 Indagine sulla matrice suolo

L'indagine proposta è finalizzata alla verifica delle caratteristiche della matrice "suolo", intesa come lo strato superiore della crosta terrestre composta da minerali, sostanza organica, acqua, aria e organismi viventi (ISO 11074:2005), allo scopo di individuare eventuali anomalie, siano esse di origine antropica o naturali, nonché di definire il "valore di fondo" per i parametri non conformi.

5.2.1 Valori di fondo

Premesso e sottolineato che i sedimenti del fondo lago risultati contaminati possono essere considerati pedogeneticamente come un'evoluzione più o meno spinta delle litologie che affiorano all'interno del bacino idrografico, nel definire i dettagli del piano d'indagine in relazione alla caratterizzazione della matrice suolo si è tenuto conto, tra l'altro, dell'esigenza di definire un "valore di fondo" per i parametri non conformi.

Per conseguire tale obiettivo si intende adottare le indicazioni contenute nel documento *“Protocollo operativo per la determinazione dei valori di fondo di metalli/metalloidi nei suoli dei siti d’interesse nazionale”*, specificatamente elaborato da ISS e APAT nel 2006 per il problema del fondo naturale di Arsenico nell’area di Brindisi.

Il criterio, seppur nato per una esigenza sito-specifica, può essere considerato di valenza generale e utilizzato quale metodologia di riferimento applicabile, con i dovuti adattamenti, a tutti i siti ove sussistano simili problematiche.

Con l’espressione *“valore di fondo”* nel suddetto documento si fa riferimento *“alla distribuzione delle concentrazioni di metalli e metalloidi la cui presenza nei terreni non sia riconducibile ad alcuna sorgente puntuale e/o specifica attiva, nel presente o in passato, sull’area di interesse”*; tale definizione corrisponde sostanzialmente a quella di *“valore di fondo”* proposta nella guida ISO 19258²¹ del 2005, ovvero: *“concentrazione di una sostanza nel suolo derivante dai processi geologici e pedologici comprendente anche l’apporto di sorgenti diffuse”*.

Nello stesso riferimento tecnico internazionale vengono inoltre definite distintamente le seguenti grandezze:

- *“Contenuto naturale pedo-geochimico”*, come la *“concentrazione di sostanze nei suoli risultante da processi naturali geologici e pedologici, senza alcuna interferenza di origine antropica”* (escluso, quindi, l’apporto di sorgenti diffuse);
- *“Contenuto antropizzato”*, come la *“concentrazione di una sostanza nei suoli derivata sia dal contenuto naturale pedo-geochimico sia della moderata immissione diffusa nel suolo”*.

Nell’adattare la procedura ISS/APAT al caso in esame non si può prescindere dal fatto che, a differenza del suo classico contesto di applicazione (un sito contaminato), quello in esame presenta le seguenti peculiarità:

- allo stato attuale delle conoscenze l’area contaminata, assimilabile al *“sito”* della procedura, e rispetto alla quale definire una relativa *“area rappresentativa”*, corrisponde all’estensione dello specchio lacustre e del suo bacino idrologico;
- la matrice che nel 2009-2010 ha presentato non conformità rispetto alle CSC della Tabella 1 (col. A) dell’All. 5 al Titolo V della Parte quarta del D.Lgs. 152/06, peraltro relativamente uniformi, è costituita dal sedimento lacustre sciolto, di aspetto e consistenza simili a quelli d’un fango più o meno addensato; il sedimento indisturbato del lago è sottoposto a condizioni chimico-fisiche non uniformi, variabili fortemente in funzione della profondità, ovvero condizionate da un battente d’acqua variabile tra 0 e circa 45 m;
- la metodologia di campionamento applicata nel 2009-2010 ha fornito campioni di sedimento rimaneggiati, mediamente rappresentativi dell’orizzonte più superficiale (non oltre 40 cm di spessore);
- tale orizzonte, sulla base di approfonditi studi pregressi (Narcisi, 2001) e delle evidenze emerse nel corso delle indagini del 2009-2010, presenta caratteristiche (distribuzione

²¹ International Organization for Standardization (2005): Soil quality – Guidance on the determination of background values. ISO19258 - ISO TC 190/SC 7.

granulometrica, composizione mineralogica, contenuto in carbonio organico) diverse rispetto a quelle dei suoli affioranti all'interno del bacino, nell'area rappresentativa, da cui il sedimento deriva attraverso processi chimici, fisici e biologici: rispetto a quella del suolo-madre si può ipotizzare in prima analisi che la composizione dei sedimenti sia caratterizzata sia da una più spinta classazione granulometrica, sia da un arricchimento nelle frazioni mineralogiche meno alterabili e/o più stabili nelle condizioni di sedimentazione.

- Le indagini preliminari effettuate nel corso del 2010-2011 sui terreni della caldera hanno evidenziato una distribuzione disomogenea del valore di arsenico che comunque risulta sempre superiore alle CSC definite per terreni a destinazione verde e residenziale (cfr. par. 3.2.3)

La procedura che si intende applicare al sito oggetto di studio, adattata dal riferimento tecnico ISS/APAT tenuto conto delle suddette considerazioni, prevede i seguenti passaggi:

1. **costituzione del set di dati:** in corrispondenza di 60 punti di prelievo interni al bacino idrografico si procederà al campionamento del top soil (TS) e del primo metro (SS) di terreno; le postazioni di prelievo, indicativamente ubicate come illustrato in Tavola 2, sono state definite adottando una strategia ibrida casuale-stratificata, basata sulla valutazione critica dell'uso del suolo²², della distribuzione degli affioramenti e delle principali strutture geologiche²³, nonché della morfologia²⁴ del terreno. I punti sono stati ubicati anche nell'ottica di poter essere suddivisi in due sottoinsiemi dell'"area rappresentativa": **AR1**, aree naturali, per le quali si può escludere ogni interferenza di origine antropica, e **AR2**, aree presumibilmente condizionate da apporti di sorgenti diffuse (agricole). Sui campioni prelevati si procederà alle analisi di laboratorio dettagliate nel par. 5.2.4.
2. **elaborazione statistica dei risultati dell'analisi;** da effettuarsi sui set differenziati per orizzonti (TS e SS) e per subaree AR1 e AR2 secondo i criteri definiti nel par. 7 e nell'appendice 1 del riferimento ISS/APAT del 2006, ovvero procedendo, nell'ordine, all'identificazione di outliers e non-detect, all'individuazione delle distribuzioni di probabilità migliori per l'approssimazione dei dati disponibili mediante test statistici, alla rappresentazione delle distribuzioni mediante opportuni descrittori.
3. **determinazione del fondo;** da effettuarsi come indicato nel par. 8 del riferimento tecnico ISS/APAT, ovvero selezionando il 95° percentile sulle curve cumulative di frequenza delle distribuzioni; con riferimento alle definizioni precedentemente esposte si intende determinare, in relazione al bacino idrografico del lago, sia il "*Valore di fondo*" propriamente detto, sia il "*Contenuto naturale pedo-geochimico*".

²² Si è acquisito e utilizzato la "*Carta dell'Uso del Suolo*" pubblicata dalla Regione Lazio nel 2003, realizzata tramite fotointerpretazione delle ortofoto Terraitaly ("it2000", 1998-99) e delle immagini satellitari Landsat 7 ETM+, rilevate in doppia copertura estiva ed invernale, negli anni 2001-02; prevede 72 classi individuate in base alle definizioni del Progetto CORINE Land Cover ma con una migliore densità informativa (unità minima 1 ha)

²³ Si è acquisito e utilizzato, tra l'altro, lo studio "*Realizzazione della Carta Litologica degli elementi strutturali in formato digitale della Regione Lazio (2003)*", prodotto dal dipartimento di Geologia di Roma TRE, che costituisce la sintesi più esaustiva (47 classi litologiche) di tutto il materiale cartografico geologico pubblicato sulla Regione

²⁴ Si è acquisito ed elaborato il DEM TINITALY/01, prodotto nel 2007 dal progetto DIGITALIA (Ministero Ambiente con INGV), limitatamente ai 4 tiles della provincia di VT (convertiti in formato .grid con passo di 10 m).

5.2.2 Prelievo del campione: esecuzione carotaggi superficiali

Per la costruzione del set di dati finalizzato alla definizione del valore di fondo si intende realizzare dei carotaggi con sistema Direct Push utilizzando una strumentazione a percussione con avanzamento a secco; le perforazioni saranno spinte ad una profondità massima di 3 m dal p.c. e comunque non oltre il rifiuto strumentale.

Il principio di funzionamento consiste nell'infissione nel terreno di un carotiere del diametro di 50 mm tramite un martello battente; il recupero della carota avverrà attraverso un'apertura longitudinale del carotiere mediante l'ausilio di spatole d'acciaio, o con l'estrazione di un liner inserito internamente al carotiere.

L'ubicazione dei punti di indagine è riportata sulla Tavola 2.

5.2.3 Metodologia di campionamento e ubicazione dei punti d'indagine

Le metodiche di campionamento della matrice terreno saranno conformi alle indicazioni operative predisposte da ARPA Lazio nell'appendice A del documento "Gestione delle attività riguardanti le bonifiche di siti contaminati – Procedura Operativa", di cui si riporta una breve sintesi e a cui si rimanda per approfondimenti.

La carota di terreno, una volta estratta, verrà decorticata con una spatola in acciaio inox per l'eliminazione della porzione alterata; la restante porzione verrà selezionata separando l'orizzonte più superficiale rappresentato dai primi 10 cm per la formazione del campione di top soil (0÷10 cm), mentre la restante porzione di carota verrà omogeneizzata per la formazione di un unico campione rappresentativo della restante porzione di suolo non a diretto contatto con i fenomeni interattivi superficiali.

5.2.4 Analisi di laboratorio – Set e metodiche

Sulla totalità dei campioni prelevati verranno eseguite analisi di laboratorio finalizzate alla determinazione di parametri chimico-fisici di seguito riportati (Tabella 43).

Tabella 43 – Analisi previste sui campioni di suolo

ID	Parametro	Metodiche applicabili
01	Tessitura	ICRAM (2001-2003)
02	Alluminio	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q. 64
03	Arsenico	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q. 64
04	Bario	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q. 64
05	Cadmio	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q. 64
06	Cromo totale	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q. 64
07	Ferro	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q. 64
08	Manganese	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q. 64
09	Nichel	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q. 64
10	Piombo	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q. 64
11	Rame	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q. 64
12	Selenio	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q. 64

13	Zinco	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA Q. 64
----	-------	------------------------------------

5.2.5 Determinazione della conducibilità idraulica

Le perforazioni eseguite per il campionamento superficiale del suolo saranno utilizzate per la determinazione della conducibilità idraulica del terreno affiorante.

Le prove saranno eseguite facendo filtrare l'acqua attraverso un tratto di foro a caratteristiche geometriche note; nel caso di terreni a conducibilità medio-bassa la prova sarà eseguita a carico idraulico variabile, nel caso di terreni ad elevata conducibilità la prova sarà effettuata a carico idraulico costante.

Modalità esecutive della prova a carico variabile:

- perforazione fino ad 1 m di profondità con carotiere di diametro 50 mm;
- immissione della tubazione di 1 metro da 1" 1/2 di diametro munita di tappo di fondo e fessurata negli ultimi 50 cm;
- saturazione del terreno interessato dalla prova per almeno 30 min;
- riempimento del perforo con acqua fino alla estremità del rivestimento;
- misura del livello dell'acqua all'interno del tubo (senza ulteriori immissioni) a distanza di 15", 30", 1', 2', 4', 8', 15', 20', 25', 30', 45', 60' dall'inizio dell'abbassamento, fino all'esaurimento del medesimo o al raggiungimento del livello falda;

La conducibilità idraulica (K) sarà determinata dalla seguente relazione:

$$K = \frac{A}{F(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

dove

A = area della sezione trasversale della cavità filtrante;

h_2, h_1 carichi idraulici misurati, rispettivamente, negli istanti t_2 e t_1 ;

F = coefficiente di forma che nella configurazione suggerita risulta essere

$$F = \frac{3\pi L}{\ln \left[1.5 \frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{1.5L}{D} \right)^2} \right]}$$

dove L è lunghezza tratto filtrante (0.5 m) e D il diametro del perforo (50 mm).

Complessivamente verranno effettuati 20 test. L'ubicazione indicativa dei punti di indagine è riportata nella Tavola 3.

5.3 Indagine sulla matrice sottosuolo

L'indagine sul sottosuolo è finalizzata alla:

- ricostruzione stratigrafica di dettaglio dell'area limitrofa al corpo lacustre;
- studio delle falde idriche sottostanti l'area di indagine.

In Tavola 4 si riporta l'ubicazione indicativa dei punti di indagine; codici identificativi e profondità di perforazione previste sono riportate nella seguente tabella.

Tabella 44 – Identificazione sondaggi geognostici e piezometri

ID Sondaggio/Piezometro	Ubicazione pozzo		Profondità [m]
	Coordinata X	Coordinata Y	
S1/PZ1	267828	4687501	25
S2/PZ2	268272	4687242	35
S3/PZ3	269851	4690213	60
S4/PZ4	265617	4692588	30

5.3.1 Modalità di esecuzione dell'indagine: sondaggi geognostici e completamento a piezometro

I sondaggi saranno realizzati a carotaggio continuo mediante carotiere da 101 mm. Le carote estruse verranno sistemate nelle cassette catalogatrici per lo studio delle successioni deposizionali del punto di indagine.

Per ogni perforazione sarà redatta una scheda di pozzo con la descrizione degli orizzonti litologici incontrati (log) corredata da documentazione fotografica; i risultati saranno rappresentati su appositi elaborati grafici.

Gli stessi sondaggi saranno attrezzati a piezometri di monitoraggio della falda rialesando il foro sondaggio con diametro > 170 mm.

Il piezometro sarà completato con tubazione in PVC atossico ad alta densità da 4" di diametro, micro fessurata (slot da 0.5 mm) sul tratto acquifero intercettato e circa 2-3 metri al di sopra del livello statico di falda registrato al momento del completamento, mentre sul restante tratto sarà installata una tubazione cieca. I vari spezzoni di tubo saranno giuntati con manicotto filettato a passo trapezoidale, in modo da escludere l'utilizzo di collanti o di nastri isolanti contenenti solventi; il tubo sarà dotato di tappo di fondo e tappo di testa.

Il completamento del piezometro prevede inoltre il riempimento della corona cilindrica compresa tra il tubo piezometrico ed il terreno con un dreno in ghiaietto siliceo arrotondato (diametro compreso tra 0.5 ÷ 1 cm), lavato e calibrato, nel tratto compreso tra il fondo foro e 1 m sopra il tratto finestrato; il restante tratto sarà sigillato con una miscela di cemento-bentonite. Il manto drenante sarà posato con una metodologia che consenta la formazione di uno strato uniforme su tutta la lunghezza del tratto fessurato, evitando la formazione di ponti che pongano il rivestimento a diretto contatto con il suolo; l'isolamento del tratto insaturo verrà realizzato mediante pompaggio della miscela cementizia dal basso verso l'alto.

Il piezometro sarà dotato di un'opportuna protezione di superficie mediante una testa pozzo munita di chiusura a chiave (lucchetto) protetta mediante pozzetto di cemento dotato di coperchio in ghisa carrabile, eventualmente a tenuta laddove sia ubicato in zone soggette ad allagamenti.

Dopo la messa in opera dei piezometri si procederà alle operazioni di sviluppo al fine di ripulirli dai detriti fini e formare il pre-filtro naturale. Per lo sviluppo dei piezometri realizzati sarà utilizzata un'elettropompa sommersa collegata ad un generatore. Nel corso dello

sviluppo idraulico si provvederà ad innalzare gradualmente la profondità di installazione della pompa in modo da interessare l'intero tratto di acquifero intercettato dal pozzo di monitoraggio.

I pozzetti di monitoraggio delle acque sotterranee saranno georeferenziati con precisione centimetrica.

5.4 Indagine sulle acque sotterranee

5.4.1 Piano di monitoraggio pozzi/sorgenti

Per la caratterizzazione delle acque sotterranee si prevede la realizzazione di una rete di monitoraggio che comprenderà alcuni pozzi esistenti, risorgenze e piezometri di nuova realizzazione installati nei punti più rappresentativi per la definizione del modello idrogeologico dell'area.

Per l'individuazione dei pozzi esistenti e delle sorgenti da inserire nella rete di monitoraggio ci si è avvalsi del censimento dei punti di captazione e/o monitoraggio sintetizzato nel par. 3.3.3, nonché di informazioni acquisite a seguito di sopralluoghi effettuati dal personale Arpa Lazio.

Sulla base dello stato di conoscenza attuale dell'idrologia e idrogeologia del bacino del Lago di Vico, si è definita una rete di monitoraggio costituita da **50** punti di osservazione sui quali saranno effettuate misure speditive di campo mediante l'utilizzo di sonde multi-parametriche, per la determinazione dei parametri: temperatura, pH, conducibilità elettrica, ossigeno disciolto, potenziale redox.

Tra le 50 postazioni di osservazione verranno selezionati **18** punti di campionamento per le analisi chimiche di laboratorio, in funzione della rappresentatività (ubicazione, conoscenza delle caratteristiche costruttive e stato della captazione), quattro dei quali saranno costituiti dai piezometri di nuova realizzazione (cfr. par. 5.3.1).

L'ubicazione di massima, riportata sulla Tavola 4, verrà resa definitiva in seguito alla verifica in sito delle caratteristiche della captazione e al rilascio di autorizzazione all'accesso da parte dei proprietari.

Su 8 dei 18 punti di campionamento selezionati, si eseguirà un prelievo a cadenza trimestrale nell'arco dell'anno di osservazione, mentre sui restanti 10 punti si eseguirà un prelievo a cadenza semestrale.

5.4.2 Metodologia di campionamento e misure di campo

Preliminarmente alle attività di spurgo e campionamento si effettueranno le seguenti operazioni:

- misura del livello statico della falda;
- misura della profondità del pozzo;
- verifica dell'integrità e della corretta identificazione del punto di campionamento;
- verifica della funzionalità e della pulizia di tutte le apparecchiature utilizzate durante il campionamento;
- decontaminazione delle apparecchiature utilizzate

L'attività di spurgo nei piezometri di nuova realizzazione sarà eseguita mediante elettropompa sommersa a basso flusso, estraendo una quantità d'acqua compresa tra 3 e 5 volte il volume del perforo in zona satura. Senza interruzione di pompaggio si eseguiranno le misure di campo dei parametri chimico-fisici riportati nel precedente paragrafo.

Sia per le sorgenti che per i pozzi della rete di monitoraggio, oltre ai parametri di campo, sarà misurata la portata.

Ad ogni campionamento da piezometro sarà eseguita la decontaminazione della pompa con acqua demineralizzata e saranno sostituite tutte le parti rimovibili. Di seguito si riportano le specifiche tecniche di prelievo:

- posizionamento dell'aspirazione della pompa in corrispondenza del punto medio del tratto acquifero;
- regolazione della portata di emungimento in modo da ottenere il minimo abbassamento del livello idrico nel pozzo, sia durante lo spurgo che durante il campionamento;
- riempimento del contenitore di prelievo precedentemente preparato in laboratorio.

5.4.3 Analisi di laboratorio – Set analitico e metodiche

Le determinazioni analitiche di laboratorio saranno finalizzate sia all'individuazione di eventuali sostanze contaminanti che alla fornitura dei parametri analitici di supporto all'elaborazione del modello idrogeologico di flusso e del modello idrochimico. Sui campioni prelevati con cadenza trimestrale (32 campioni) sarà eseguita la speciazione dell'arsenico secondo le metodiche riportate nel paragrafo 5.6.4.

In Tabella 45 è riportato il set analitico di laboratorio.

Tabella 45 – Analisi di laboratorio previste per 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

ID	Parametro	Metodiche applicabili
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
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

5.4.4 Prove idrauliche

L'indagine sulle acque sotterranee includerà anche la determinazione dei parametri idrodinamici e idrodispersivi attraverso la realizzazione di alcune prove di pozzo di seguito riportate:

- prova 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 di immissione - pozzo di monitoraggio sottogradiante.

5.5 Indagine sui sedimenti di lago

Per la caratterizzazione del sedimento di lago si prevede di realizzare una campagna di indagine estesa all'intera area del bacino lacustre che prevede il prelievo di 10 carote di sedimento di fondo lago, dalle quali si formeranno in laboratorio due campioni, uno rappresentativo del top e uno rappresentativo del bottom.

I campioni di sedimento saranno sottoposti ad analisi chimiche e, in numero ridotto, anche ad analisi radiometrica volta alla datazione dei relativi orizzonti; l'ubicazione indicativa dei punti di prelievo è riportata in Tavola 5.

5.5.1 Modalità di campionamento

I prelievi di sedimento saranno eseguiti utilizzando un carotiere a gravità (free-fall corer) ancorato ad un telaio in acciaio dotato di pesi che, in caduta libera, favoriscono la verticalità e la penetrazione del fondale lacustre; lo strumento consiste in un telaio con costole di rinforzo, una zavorra e l'elemento campionatore che penetra nel sedimento lacustre in virtù del suo stesso peso (Figura 24).



Figura 24 – Campionatore a caduta libera per sedimenti sommersi (free-fall corer Eijkelkamp 04.29)

La testa dell'elemento campionatore viene chiusa con un "naso", il componente posto all'estremità inferiore del tubo che ha la funzione di agevolare l'ingresso del sedimento lungo il liner e trattenerlo (mediante lamelle solidali e convergenti verso l'interno del liner).

Le metodiche di campionamento del sedimento saranno, in ogni caso, conformi alle indicazioni operative predisposte da APAT "Manuale per le indagini ambientali nei siti contaminati", di cui si riporta una breve sintesi e cui si rimanda per approfondimenti.

Il carotiere verrà dotato di una cima la quale una volta collegata al verricello consentirà il recupero della campionatore; in questa fase si presterà particolare attenzione alla velocità di risalita dello stesso, che non dovrà essere troppo elevata.

Ad ogni manovra il tecnico presente alle operazioni provvederà ad annotare le coordinate del punto di prelievo.

Una volta recuperato a bordo, si procederà all'estrazione del liner dal carotiere, a sigillarne le estremità e a contrassegnare il contenitore del campione con l'apposita etichetta e sigla di riconoscimento.

Il recupero della carota avverrà in laboratorio, nel più breve tempo possibile, attraverso l'utilizzo di un estrattore il quale, tramite un pistone, consentirà di estrarre la carota di sedimento dal liner. La composizione del campione avverrà dal nucleo della carota, evitando le parti esterne della stessa presumibilmente alterate, formando i due campioni rappresentativi del top e del bottom.

La descrizione del materiale recuperato e i caratteri stratigrafici principali, saranno di norma integrati da documentazione fotografica.

5.5.2 Analisi di laboratorio – Set e metodiche

Sui campioni prelevati verranno eseguite analisi di laboratorio finalizzate alla determinazione degli analiti riportati in Tabella 46, tenuto conto che gli IPA saranno determinati solo sui campioni rappresentativi del top e che gli alifatici clorurati verranno ricercati esclusivamente sui due campioni prelevati in prossimità dell'Ex Magazzino materiali difesa N.B.C.

Tabella 46 – Analisi previste 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

ID	Parametro	Metodiche applicabili
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
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

5.5.3 Datazione del sedimento

L'indagine prevede l'esecuzione della datazione radiometrica (^{14}C) della sostanza organica (con correzione del rapporto $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ e datazione calibrata, se applicabile) su 4 campioni estratti da 2 carote, rappresentativi del top e del bottom.

5.5.4 Valutazioni sulla geochimica dell'arsenico nel sedimento

Specifiche valutazioni saranno fatte riguardo la geochimica dell'arsenico (As) e le abbondanze relative di arsenico trivalente As(III) e pentavalente As(V) nei sedimenti lacustri.

Si procederà su 2 campioni alla speciazione dell'arsenico utilizzando la combinazione di due tecniche analitiche: Cromatografia Ionica (HPLC) e ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer).

5.6 Indagine acque superficiali

La caratterizzazione delle acque superficiali consisterà nella definizione delle caratteristiche idrochimiche e di contaminazione delle acque del lago e del suo principale immissario Fosso Scardenato

5.6.1 Monitoraggio acque lacustri: scelta dei punti di osservazione e modalità esecutive dei campionamenti

Il prelievo dei campioni delle acque lacustri sarà 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 verrà 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 misurare i 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 prevede 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.

In Tavola 6 si riporta l'ubicazione dei punti di monitoraggio.

La strategia di campionamento dell'acqua lacustre sui 2 punti di massima profondità, prevede il prelievo a profondità discrete, con l'obiettivo di descrivere lo stato chimico di strati diversamente omogenei: epilimnio, metalimnio, ipolimnio e mixolimnio.

Il suddetto manuale APAT prevede metodiche differenziate per la definizione della profondità di campionamento:

CASO 1: presenza di stratificazione termica e chimica

CASO 2: completa circolazione

Sulla base dei monitoraggi storici, le acque del lago di Vico presentano durante il periodo estivo una evidente stratificazione termica e, durante il periodo invernale, manifestano completa circolazione; tenuto conto di ciò si prevedono le due metodiche di campionamento di seguito riportate.

1. Campionamento in presenza di stratificazione termica e chimica

L'identificazione degli strati in presenza di stratificazione termica e chimica è effettuata mediante misura della temperatura (laghi dimittici, monomittici, olomittici e polimittici), con l'utilizzo anche delle concentrazioni di ossigeno disciolto nei laghi oligomittici.

Le misure saranno effettuate utilizzando una sonda multiparametrica con frequenze di registrazione di almeno 1 m fino alla profondità della zona eufotica (fino ad un massimo di 30 m) e con intervalli non superiori a 10 m per la restante parte della colonna.

Dalla lettura diretta delle misure effettuate si potrà identificare:

- la struttura termica, da cui identificare l'epilimnio; il termoclinio viene identificato nel punto in cui la temperatura inizia a variare per più di 1 °C/m. Più delicata, invece, è l'identificazione del limite inferiore dello strato metalimnetico, da cui inizia l'ipolimnio, poiché la curva termica solitamente ha un andamento parabolico con una lenta diminuzione con la profondità. In questi casi ci si può aiutare con la curva dell'ossigeno.
- la distribuzione delle concentrazioni di ossigeno sulla colonna.
- la distribuzione della conducibilità elettrica sulla colonna.

Effettuata l'individuazione degli strati si procederà con l'identificazione delle profondità rappresentative che, in condizioni di stratificazione e per laghi con profondità massima ≤ 50 m, come il caso studio, possono essere approssimativamente indicate al massimo in numero di 5:

- in superficie (0.5 m);
- a 4/5 dell'epilimnio (ad es. se il termoclinio è a 10 m, il prelievo può essere fatto a 8 m);
- nel centro del metalimnio;
- nell'ipolimnio superiore;
- nell'ipolimnio profondo, ma almeno a 2 m dal fondo.

2. Campionamento in completa circolazione

Accertata la completa omeotermia attraverso la misura della temperatura e l'assenza di significative variazioni di concentrazione dell'ossigeno disciolto (>2 mg/l O_2) su tutta la colonna d'acqua, il campionamento sarà effettuato seguendo i seguenti criteri:

- in superficie (0.5 m);
- in prossimità del fondo, ma almeno a 2 m dal fondo;
- alla profondità della zona eufotica.

L'attività di indagine sulle acque lacustri includerà anche il monitoraggio dei parametri quali Temperatura, pH ed Eh delle acque del fondo lacustre su circa 20 punti di della maglia di monitoraggio. I risultati di tale attività saranno utilizzati per la valutazione della presenza di possibili risalite di fluidi idrotermali all'interno del bacino lacustre.

5.6.2 Analisi di laboratorio – Set e metodiche

Sulla totalità dei campioni prelevati verranno eseguite analisi di laboratorio finalizzate alla determinazione degli analiti riportati nella seguente Tabella 47.

Tabella 47 – Analisi previste sui campioni di acqua di lago

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
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

ID	Parametro	SET	Metodiche applicabili
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

5.6.3 Monitoraggio acque fluviali: scelta dei punti di osservazione e modalità esecutive dei campionamenti

L'attività d'indagine sulle acque fluviali comprenderà:

- la misurazione dei flussi idrici nelle 2 principali aste fluviali (l'immissario Fosso Scardenato e l'emissario Rio Vicano), sia in fase di magra che di piena, al fine di restituire un dato numerico per la definizione del bilancio idrogeologico del bacino idrografico vicano;
- il campionamento dell'acqua del fosso Scardenato in corrispondenza della stazione di monitoraggio del flusso idrico sia in fase di magra che durante un evento di piena.

La misurazione della portata dei fossi verrà effettuata con l'ausilio di un idromulinello tramite letture puntuali di velocità su una sezione trasversale dell'alveo nota, definita e discretizzata che permetterà inoltre la lettura dell'altezza idrometrica nelle diverse condizioni di flusso.

L'attività di campionamento sul Fosso Scardenato si svolgerà in condizioni di flusso di base con 4 prelievi distribuiti nell'arco dell'anno di osservazione e in condizioni di flusso di piena per la valutazione degli apporti da ruscellamento. Il prelievo verrà effettuato dalla superficie tramite un contenitore pulito cercando di campionare sulla linea principale di deflusso.

Sui campioni prelevati saranno determinati esclusivamente i solidi sospesi totali.

5.6.4 Speciazione chimica acque superficiali e sotterranee

Anche per le acque lacustri verranno 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, sarà effettuata la speciazione dell'arsenico, utilizzando la combinazione di due tecniche analitiche (cromatografia ionica, HPLC, e ICP-MS, Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer).

5.6.5 Bilancio idrologico del bacino

In fase d'indagine si provvederà ad acquisire i dati meteorologici (pluviometrici e termometrici) e del livello idrico del lago, per l'elaborazione/aggiornamento del bilancio idrologico del bacino. I dati meteorologici delle stazioni significative per la caratterizzazione dell'area, saranno sottoposti ad analisi statistiche per valutare l'omogeneità delle serie.

I metodi per la valutazione del bilancio idrologico del bacino comprenderanno l'applicazione delle relazioni di Thornthwaite-Mather, per il calcolo dell'evapotraspirazione reale e potenziale, quella di Dragoni-Valigi per la valutazione dell'evaporazione dal lago, relazione quest'ultima ricavata sperimentalmente per i laghi dell'Italia centrale.

Le misure della portata dei deflussi superficiali previste in fase d'indagine, integrate con quelle disponibili in letteratura, contribuiranno ad aggiornare la valutazione del parametro ruscellamento.

5.7 Valutazione ecotossicologica

Ecotossicologia e analisi di rischio ambientale sono argomenti strettamente correlati, dove il primo è il presupposto per il secondo, in quanto esprime la probabilità di danno biologico a diversi livelli di organizzazione (individuo, popolazione, comunità, ecosistema) prodotto da un agente chimico, fisico o biologico entro una determinata finestra di tempo. Una cultura ecotossicologica è essenziale per la comprensione delle traiettorie ambientali dei diversi contaminanti, della loro permanenza nei diversi comparti, dei livelli di esposizione di organismi viventi, incluso l'uomo, dei danni biologici provocati e attesi dall'esposizione ai contaminanti.

Nella maggior parte dei casi i composti tossici non sono di origine naturale (xenobiontici) oppure, se di origine naturale, sono presenti in quantità e forma tali da determinarne la tossicità.

Il destino di uno xenobiontico è determinato dalle sue proprietà chimico-fisiche intrinseche, dalle proprietà chimico-fisiche e biologiche dell'ambiente e dalla quantità in cui è rilasciato dall'ambiente stesso. Inoltre, nei sistemi acquatici numerosi processi possono alterare la tossicità di una sostanza una volta penetrata nell'ambiente: diluizione, adsorbimento, idrolisi, ionizzazione, fotolisi, degradazione microbiologica, volatilizzazione e ripartizione. Ad esempio, le sostanze organiche si legano ai sedimenti, con un conseguente miglioramento della qualità delle acque ed un peggioramento della qualità dei sedimenti dovuto all'adsorbimento.

Occorre poi tener conto delle interazioni tra i vari composti, i quali possono dare origine a fenomeni di sinergia (amplificazione non aritmetica dell'effetto dovuta alla combinazione di più stressori) oppure di antagonismo (diminuzione non aritmetica dello stesso). Si possono quindi verificare una riduzione o trasformazione dei composti all'interno delle varie matrici, che possono dare come risultante un incremento o una diminuzione del potenziale tossico della sostanza di partenza, oppure una sua attivazione/disattivazione (ad esempio, la complessazione dei metalli li rende inerti e li lega ai sedimenti, mentre la loro forma ionica libera determina una forte tossicità).

Nell'ambito della valutazione di rischio ambientale, il campo di applicazione dell'ecotossicologia è costituito essenzialmente dallo studio degli effetti delle immissioni di prodotti e sottoprodotti delle attività umane nella biosfera. Tali immissioni avvengono in maniera diretta e immediata (come per insetticidi, pesticidi, etc.), posticipata nel tempo rispetto all'utilizzo (ad esempio i rifiuti), volontaria o involontaria. Il fattore unificante rimane l'immissione dall'esterno di sostanze, xenobiontiche o naturali, ma in quantità o concentrazione non naturale. Su tali prodotti, sottoprodotti, scarti di lavorazione e rifiuti la normativa prevede di effettuare test ed analisi volti ad inquadrare il rischio che rappresentano per l'ambiente e per l'uomo; tra questi test in alcuni casi sono previsti anche quelli ecotossicologici. Ad esempio, il D.Lgs. 152/1999 e s.m.i. prevede l'effettuazione di test ecotossicologici sui reflui prima dell'immissione e sui corpi idrici cui i reflui afferiscono; il D. Lgs. 194/1995 prevede una classificazione dei prodotti fitosanitari basata anche sui risultati di test di tipo ecotossicologico; il D.M. 367/2003, come successivamente il D.Lgs. 152/2006, stabilisce standard di qualità per l'ambiente fondati su criteri ecotossicologici.

5.7.1 Test di tossicità

Un test di tossicità si fonda sul principio secondo il quale, esponendo un organismo vivente ad un agente tossico, la risposta risulta essere funzione diretta della dose assunta e indiretta del livello di esposizione; quindi, in generale, essi vengono descritti da relazioni dose-risposta e da curve attività-effetto.

In ecotossicologia si definisce come acuto un effetto che si realizza per un'esposizione inferiore a un decimo del ciclo vitale dell'organismo test, e comunque breve anche in termini assoluti (minuti, ore), mentre cronico un effetto che si rileva per un'esposizione più lunga (giorni, anni) e in ogni caso superiore alla metà della vita dell'organismo.

La scelta delle specie da utilizzare nei test di tossicità dipende dall'obiettivo che si vuole conseguire. Nel caso in cui l'obiettivo è quello di coprire la maggior parte degli stressori potenzialmente presenti in un campione, sarà opportuno applicare il criterio della massima diversità componendo una batteria di organismi, in cui ciascuno dei membri dovrà correlarsi con le specie rappresentate e complementarsi con le altre specie che compongono la batteria.

Per la buona riuscita e per la significatività di un test di tossicità, grande importanza riveste anche l'endpoint, definito come la caratteristica di un componente ecologico (ad esempio la mortalità di un pesce o l'immobilizzazione di un crostaceo) che può evidenziarsi in conseguenza all'esposizione ad uno stressore: quando questo viene raggiunto, il test si considera terminato.

L'endpoint può essere un parametro misurabile (risponde allo xenobiontico e descrive aspetti essenziali per il mantenimento delle caratteristiche dell'ecosistema, o meglio gli studi in laboratorio sulla mortalità di specie surrogate) oppure stimabile (descrive le caratteristiche dell'ecosistema da proteggere, come ad esempio il declino in natura della popolazione di un pesce).

I più comuni endpoint considerati sono:

- mortalità;
- immobilizzazione;
- effetti sulla riproduzione,

- effetti sul DNA;
- effetti sulla crescita e sviluppo degli individui;
- effetti sulla crescita di una popolazione;
- alterazione di parametri metabolici e/o fisiologici;
- alterazione di particolari caratteristiche comportamentali.

I risultati dei test ecotossicologici sono espressi, secondo una consuetudine scientifica consolidata nel tempo, attraverso parametri di tipo mediani e soglia.

Tabella 48 – Parametri ed unità di misura (Oddo, 2001)

	Parametro		
Parametri soglia	Dose Letale 50	LD50	mg/kg peso corporeo
	Dose Efficace 50	ED50	mg/kg peso corporeo
	Concentrazione Efficace 50	EC50	mg/L o % campione
	Concentrazione Efficace xx	ECxx	mg/L o % campione
	Indice di Tossicità	TI	EC50-1 x 100 (Toxicity Unit)
	Concentrazione Teratogenica 50	TC50	mg/L
Parametri mediani	Concentrazione di Effetto Non Osservato	NOEL	mg/L o % campione
	Minima Concentrazione di Effetto Osservato	LOEL	mg/L o % campione
	Minima Diluizione Inefficace	LID o Gf	Fattore di diluizione
	Minima Concentrazione Inibitrice dello Sviluppo	MCGI	mg/L

Per stimare la validità di impiego di un test di ecotossicità, il criterio di correlazione è tra quelli maggiormente utilizzati. Esso consiste nello scegliere una serie di campioni, eseguire su ciascuno di essi un saggio su due o più specie e confrontare i risultati dei saggi eseguiti su ciascun campione. Con appositi algoritmi si calcola, infine, il coefficiente di accordo tra i vari organismi, che è generalmente espresso in percentuale.

Esistono una serie di saggi standardizzati secondo procedure ufficiali accettate a livello europeo ed internazionale:

- tossicità acuta sui pesci;
- tossicità acuta su batteri bioluminescenti;
- tossicità acuta su *Daphnia magna* ed altri crostacei;
- inibizione della crescita algale;
- saggio a breve termine su embrione di pesci,
- saggio di crescita su stadi giovanili di pesci,
- saggio di riproduzione su *Daphnia magna* ed altri crostacei;
- saggio di bioaccumulo in flusso continuo sui pesci.

Le procedure maggiormente diffuse fanno riferimento a sigle quali APAT IRSA-CNR, ASTM, ISO, USEPA, OECD e riguardano:

- Batteri bioluminescenti: il ceppo più frequentemente utilizzato è *Vibrio fischeri*, che viene applicato per la valutazione della tossicità acuta di scarichi, acque marine e dolci, sedimenti, sostanze pure. La durata dei test è di circa 15/30 minuti. La tecnica prevede la verifica della riduzione dell'emissione luminosa da parte dei batteri sottoposti a contatto con una sostanza potenzialmente tossica. Il risultato viene riportato sotto forma di EC50, che corrisponde alla concentrazione efficace della sostanza tossica in grado di causare un decremento del 50% della luminosità batterica rispetto al controllo dopo un tempo di esposizione prefissato alla matrice da saggiare. Questo tipo di indagine rappresenta un vero e proprio test metabolico, in cui la sospensione batterica è utilizzata come organismo bersaglio.
- Crostacei: i saggi di tossicità con crostacei vengono effettuati su un'ampia gamma di matrici, comprese le acque marine. La durata dei test è solitamente di 24/48 ore, massimo 96, sebbene esistano anche metodiche croniche della durata di sette giorni. Per valutare la tossicità sia acuta che cronica di composti su specie acquatiche, la specie più diffusa ed utilizzata è senza dubbio il *Copepode Daphnia magna* (Straus), semplice da allevare, accanto a *Ceriodaphnia dubia*, che forniscono dati di una discreta qualità; i metodi che prevedono l'utilizzo di questi organismi sono standardizzati e validati a livello internazionale.
- *Daphnia magna* viene allevata in laboratorio a temperatura costante di $20^{\circ}\text{C} \pm 1$ ed illuminata con luce a fluorescenza per 16 ore al giorno. Stesse condizioni sono mantenute nella fase test.
- Alghe: i test di questo tipo considerano principalmente quale endpoint l'inibizione della crescita algale rispetto a un controllo. La crescita algale può essere misurata attraverso diversi sistemi, come il conteggio delle cellule algali attraverso contaglobuli elettronico o camere di Burkner per lettura al microscopio, oppure la misura della clorofilla *a* in vivo mediante fluorescenza, o la misura della densità ottica direttamente nelle cuvette di crescita a 670 nm. Il metodo più diffuso è quello che utilizza *Selenastrum capricornutum* (*Raphidocellis subcapitata*) e *Pseudokirchneriella subcapitata* con incubazione a temperatura costante di $23^{\circ}\text{C} \pm 2$ per un periodo di 72 ore.
- Vegetali: i test sui vegetali valutano gli effetti delle sostanze tossiche sulla germinazione e l'allungamento radicale. Parametri diffusi sono i test di fitotossicità che considerano ad esempio la variazione della crescita in vaso di determinate specie. I tempi e le metodiche variano a seconda della pianta che si utilizza. I test più diffusi sono quelli di fitotossicità con *Cucumis sativum*, *Sorghum saccharatum* e *Lepidium sativum*. Il saggio cronico breve, che prende in considerazione la germinazione e l'accrescimento radicale di queste specie vegetali, prevede un'incubazione per 72 ore a $25^{\circ}\text{C} \pm 2$.
- Pesci: questi saggi in genere sono i meno diffusi e più problematici da attuare per una serie di motivi tecnico-pratici, quali le modalità di allevamento e la durata dei test.

I test proposti (Tabella 49) saranno condotti su campioni di sedimento e di acqua in 10 punti distribuiti all'interno del bacino lacustre. In ogni punto saranno prelevati una carota di sedimento e un campione d'acqua nella colonna sovrastante con le modalità riportate nei paragrafi 5.5.1 e 5.6.1.

Tabella 49 – Test di tossicità previsti

Matrice	Organismo	Tipo di test	End point	Metodica
Acqua superficiale	Daphnia magna	Tossicità acuta	Inibizione della mobilità	UNI EN ISO 6341:1999 APAT IRSA CNR 8020/2003
	Pseudokirchneriella subcapitata	Tossicità cronica	Inibizione della crescita algale	UNI EN ISO 8692:2005
	Cucumis sativus L.	Tossicità cronica breve	Inibizione germinazione e allungamento radicale	UNI 11357:2010
	Lepidium sativum L.	Tossicità cronica breve	Inibizione germinazione e allungamento radicale	UNI 11357:2010
	Sorghum saccharatum Moench	Tossicità cronica breve	Inibizione germinazione e allungamento radicale	UNI 11357:2010
Sedimento	Daphnia magna	Tossicità acuta	Inibizione della mobilità	UNI EN ISO 6341:1999 APAT IRSA CNR 8020/2003
	Pseudokirchneriella subcapitata	Tossicità cronica	Inibizione della crescita algale	UNI EN ISO 8692:2005
	Cucumis sativus L.	Tossicità cronica breve	Inibizione germinazione e allungamento radicale	UNI 11357:2010
	Lepidium sativum L.	Tossicità cronica breve	Inibizione germinazione e allungamento radicale	UNI 11357:2010
	Sorghum saccharatum Moench	Tossicità cronica breve	Inibizione germinazione e allungamento radicale	UNI 11357:2010

5.8 Modello geochimico e idrogeologico del bacino lacustre

5.8.1 Elaborazione modello geochimico

A seguito dell'ottenimento dei risultati delle indagini si procederà all'elaborazione dei dati analitici, con lo scopo di definire un modello idrogeochimico del Lago di Vico e degli acquiferi sia superficiali che profondi di alimentazione dello stesso.

Particolare attenzione verrà rivolta allo studio dei processi geochimici che concorrono agli equilibri chimici, a diversa profondità del corpo lacustre e nelle diverse condizioni stagionali.

Il modello verrà implementato con l'ausilio del codice PHREEQC sviluppato da Appelo e Parkhurst per U.S. Geological Surveys, ideato per riprodurre una estesa varietà di calcoli geochimici per sistemi acquosi a bassa temperatura. In particolare verrà studiata la speciazione delle fasi nelle soluzioni acquose attraverso il calcolo degli indici di saturazione delle principali fasi mineralogiche presenti nell'area di studio e la distribuzione delle concentrazioni dei componenti geochimici. Si effettueranno dunque simulazioni di processi di dissoluzione-precipitazione termodinamica e/o cinetica dei minerali principalmente coinvolti, e processi di scambio cationico e trasporto. Attraverso l'approccio dell'Inverse Modeling

verranno poi verificati eventuali fenomeni di mixing e di evoluzione geochimica nei percorsi sotterranei, applicando il database termodinamico WATEQ4F.

5.8.2 Elaborazione modello Idrogeologico

Sulla base dei risultati delle indagini previste si procederà alla definizione del modello idrogeologico concettuale e all'implementazione di un modello numerico di flusso e trasporto, alle differenze finite, del bacino del Lago di Vico, con la finalità di fornire un contributo alla caratterizzazione del bacino idrogeologico per la validazione del modello concettuale definitivo sito specifico.

Il modello idrogeologico concettuale del bacino comprenderà la definizione:

- dell'assetto idrostratigrafico e idrostrutturale del bacino;
- dello schema di flusso idrico sotterraneo mediante ricostruzioni piezometriche;
- dei rapporti acque superficiali – acque sotterranee;
- dei rapporti tra flussi idrici sotterranei profondi – falda idrica delle vulcaniti – acque del lago.

Il modello numerico di flusso sarà implementato in ambiente MODFLOW, in condizioni stazionarie, a scala di bacino; sarà opportunamente calibrato sulla base dei dati e parametri misurati e disponibili, procedendo poi ad un'analisi di sensitività rispetto alle variabili ricarica, conducibilità idraulica, afflussi e deflussi delle diverse componenti del bilancio idrologico.

Il modello numerico di trasporto sarà implementato successivamente, basandosi sul campo restituito dal modello di flusso, per mezzo del codice modflow-compatibile MT3DMS (Modular 3D Multi-species Transport Model), per almeno tre settori critici del bacino, al fine di simulare possibili scenari di contaminazione delle acque del lago.

Il primo scenario riguarderà la possibile propagazione di contaminazione in falda e verso il lago da eventuali sorgenti diffuse derivanti dalle pratiche colturali presenti all'interno del bacino. Il settore di bacino modellato sarà definito in dettaglio a valle delle indagini previste e specificamente quelle relative alla caratterizzazione dei suoli; è prevedibile comunque che il settore selezionato per questa simulazione ricadrà nell'area nord o nord-orientale della conca lacustre, dove è più diffuso l'uso del suolo ai fini agricoli.

Il secondo scenario riguarderà la possibile propagazione di contaminazione in falda e verso il lago da eventuali sorgenti puntuali derivanti dall'ex-magazzino del centro NBC. Il settore di bacino da modellare sarà quello compreso tra il centro NBC ed il lago.

Il terzo scenario riguarderà la possibile propagazione di contaminanti geogenici da flussi sotterranei profondi verso il lago. Il settore selezionato sarà quello dell'area orientale del bacino, comprendente il pendio di Monte Fogliano, dove sono note risalite di acque termali di origine profonda con significativi contenuti di arsenico.

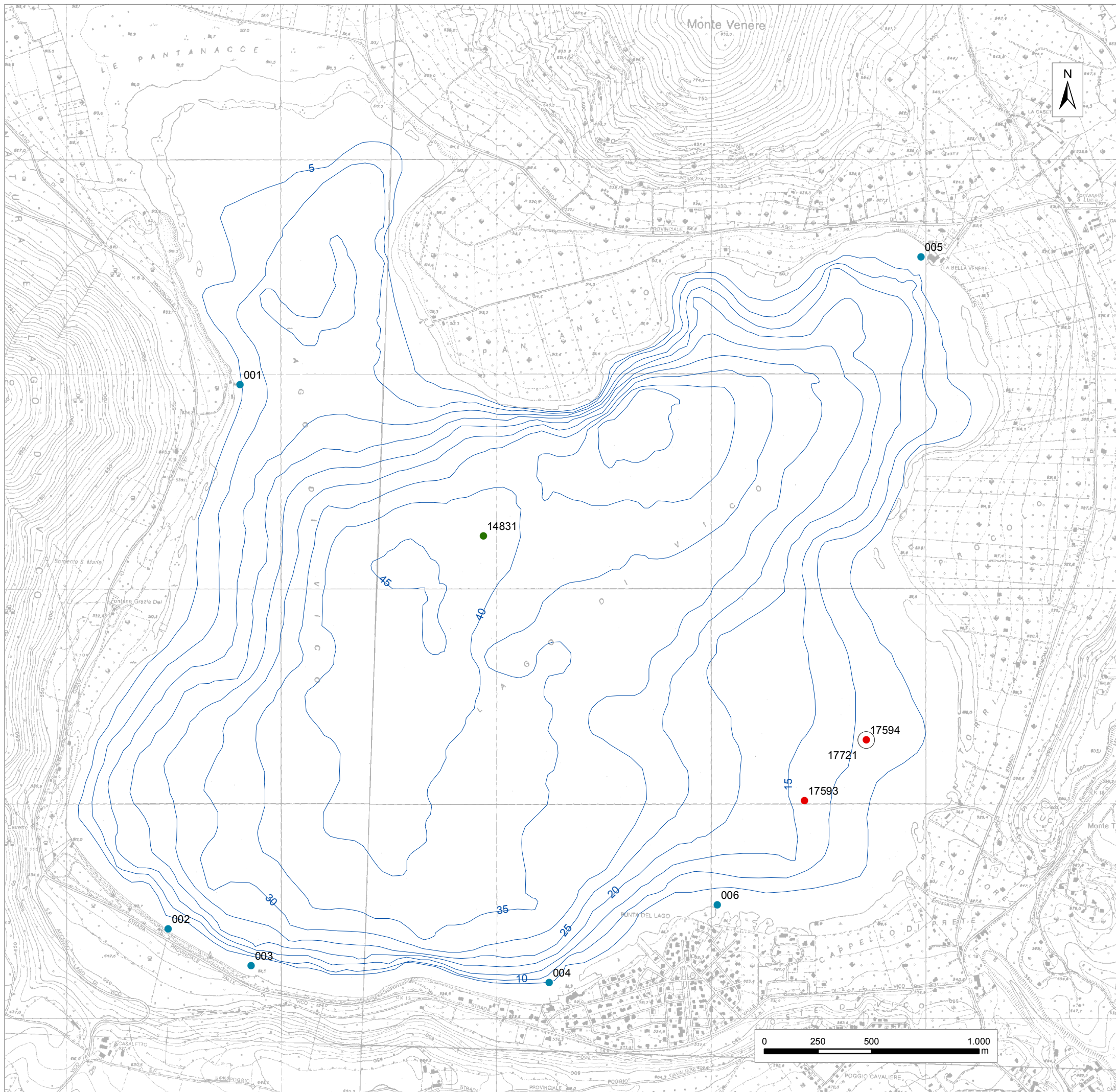
6 BIBLIOGRAFIA

- BACCI E., 2011, *Analisi di rischio ambientale, bonifica di siti contaminati ed ecotossicologia. Un viaggio tra scienza e normativa*, Atti del corso di aggiornamento ARPA Toscana, Grosseto (Italy), 5 dicembre 2008
- BARBANTI L., 1968, *Lago di Vico: rilevamento batimetrico e note geomorfologiche*, «Memorie Ist. It. Idrobiol. Pallanza», XXV (1968), pp. 1-23.
- BERTAGNINI A., SBRANA A., 1986, *Il vulcano di Vico: stratigrafia del complesso vulcanico e sequenze eruttive delle formazioni piroclastiche*, «Memorie Società Geologica Italiana», XXXV (1986), pp. 699-713.
- BERTINI M., D'AMICO C., DERIU M., GIROTTI O., TAGLIAVINI S., VERNIA L., 1970, note illustrative della *Carta geologica d'Italia alla scala 1:100000 - Foglio 137 - Viterbo*, Nuova Tecnica Grafica (1970)
- BERTINI M., D'AMICO C., DERIU M., TAGLIAVINI S., VERNIA L., 1971, note illustrative della *Carta geologica d'Italia alla scala 1:100000 - Foglio 143 - Bracciano*, Nuova Tecnica Grafica (1971)
- BONI C., BONO P., CAPELLI G., 1986, *Schema idrogeologico dell'Italia centrale*, «Memorie Società Geologica Italiana», XXXV (1986), pp. 991-1012.
- BONI C., BONO P., CAPELLI G., 1988, *Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio alla scala 1:250.000*, Regione Lazio e Univ. di Roma La Sapienza
- CAPELLI G., MAZZA R., DI CORCIA A., 2007, *Studio di caratterizzazione e relativo monitoraggio delle acque dei corpi idrici superficiali e delle falde soggiacenti le aree di ricarica del bacino lacustre di Vico. Relazione finale*, Convenzione di Ricerca tra Univ. degli Studi Roma Tre, Univ. di Roma La Sapienza e Regione Lazio.
- CHIOCCHINI U., MADONNA S., MANNA F., LUCARINI C., PUOTI F., CHIMENTI P., 2001, *Risultati delle indagini sull'area delle manifestazioni termominerali di Viterbo*, «Geologia tecnica & ambientale», IX (2001) 1, pp. 17-32.
- CIMARELLI C., DE RITA D., 2008, *Carta delle geodiversità dei distretti vulcanici cimino e vicano in scala 1:75.000*, con note illustrative, Edizioni ARP (2008)
- CIMARELLI C., DE RITA D., 2006, *Risultati sull'area delle manifestazioni termominerali di Viterbo*, «Journal of Volcanology and Geothermal Research», (2006) 1-2, pp. 106-116.
- BAIRD C., CANN M., 2006, «Chimica ambientale», pp. 373-376, 366-373
- LA TORRE P., NANNINI R., SOLLEVANTI F., 1981, *Geothermal exploration in Central Italy: geophysical surveys in Cimino range area*, Atti del 43° meeting European Association of Exploration Geophysicists, Venezia Lido (Italy), 26-29 maggio
- LEONE A., 1998, *Assetto territoriale del bacino del lago di Vico e tutela del corpo idrico*, rapporto finale della convenzione biennale tra Provincia di Viterbo (Assessorato Ambiente) e Università della Tuscia, dicembre 1998

- LEONE A., RIPA M.N., RECANATESI F., 2001, *Carta batimetrica del lago di Vico per la valutazione dell'impatto delle attività agricole*, Atti del 7° convegno Nazionale di Ingegneria Agraria, Vieste (Italy), 11-24 settembre
- LOCARDI E., 1965, *Tipi di ignimbriti di magmi mediterranei: le ignimbriti del vulcano di Vico*, «Atti Società Toscana di Scienze Naturali», 72, pp. 55-173
- MAGRI D., SADORI L., 1999, *Late Pleistocene and Holocene pollen stratigraphy at Lago di Vico, Central Italy*, «Vegetation History and Archeobotany», VIII (1999) 4, pp. 247-260
- NARCISI B., 2001, *Palaeoenvironmental and palaeoclimatic implications from the Late-Quaternary sediment record of Vico volcanic lake*, «Journal of Quaternary Science», XVI (2001) 3, pp. 245-255
- PERIN G., 2004, *Metodi biologici di previsione degli effetti*, Cap. V del materiale didattico pubblico del corso *Ambiente e Salute*, Università Ca' Foscari, Venezia, A.A. 2003/2004
- PISCOPO V., BARBIERI M., MONETTI V., PAGANO G., PISTONI S., RUGGI E., STANZIONE D., 2006, *Hydrogeology of thermal waters in Viterbo area, central Italy*, «Hydrogeology Journal», XIV (2006), pp. 1508-1521
- SIBI A., 1998, *Caratteristiche idrogeologiche e modellizzazione del lago di Vico (VT)*, tesi sperimentale di laurea in Scienze Geologiche, Relatore Prof. W. Dragoni, Università degli studi di Perugia, A.A. 1997-98
- SPAZIANI F., 2010, *Influenza dell'idrostratigrafia e dell'assetto strutturale sulla presenza di arsenico nelle acque sotterranee dei distretti vulcanici Cimino e Vicano*, tesi di dottorato di ricerca in Ecologia e gestione delle risorse biologiche, XXII ciclo, Tutor Prof. V. Piscopo, Università degli studi della Tuscia - Viterbo, 2010
- TARQUINI S., ISOLA I., FAVALLI M., MAZZARINI F., BISSON M., PARESCHI M.T., BOSCHI E., 2007, *P TINITALY/01: a new Triangular Irregular Network of Italy*, «Annals of Geophysics», 50, pp. 407-425
- VIVONA R., 2004, *Criteri e metodi per la valutazione quali-quantitativa delle acque sotterranee destinate al consumo umano: esempi nel Lazio Nord-Occidentale*, tesi di dottorato di ricerca in Scienze della Terra, XVII ciclo, Tutor Dott. E. Preziosi, Dott. B. Mané, Università degli studi di Roma "La Sapienza" - Roma, 2004

TAVOLE

- Tav. 1:** Monitoraggi ARPA di routine
- Tav. 2:** Caratterizzazione dei terreni circumlacuali
- Tav. 3:** Determinazione della conducibilità idraulica
- Tav. 4:** Monitoraggio delle acque sotterranee
- Tav. 5:** Caratterizzazione dei sedimenti lacustri
- Tav. 6:** Caratterizzazione delle acque lacustri



Punti di monitoraggio delle acque lacustri

- Qualità delle acque destinate alla balneazione
 - Obiettivi di qualità ambientale per le acque superficiali
 - Qualità delle acque superficiali destinate alla produzione idropotabile
 - Qualità delle acque dolci superficiali idonee alla vita dei pesci
- Isobate (da Leone, 2001)

"I punti di monitoraggio sono contrassegnati da un identificativo ARPA Lazio"

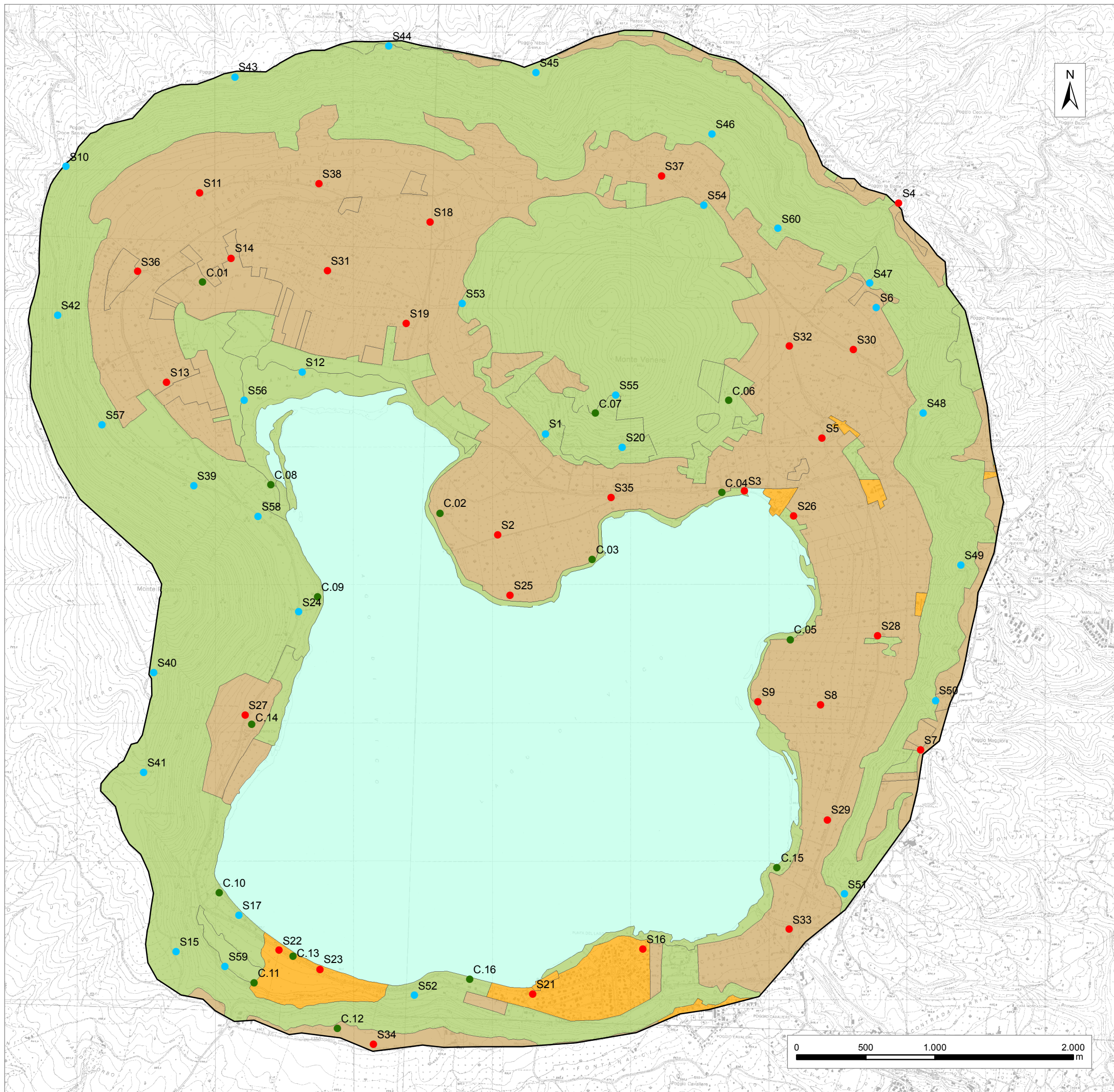


Bacino del Lago di Vico (VT)
Piano della Caratterizzazione

Ai sensi del D.Lgs. 152/2006

Tav. 01

Monitoraggi ARPA di routine



Uso del suolo: copertura schematica
 Modificato da "Carta uso del suolo, Regione Lazio 2003"

- AR1 aree naturali
- AR2 aree agricole
- AR3 aree residenziali e produttive

Sondaggi da realizzare

- su aree non antropizzate
- su aree antropizzate

Attività pregresse

- campagna ARPA - NAS 2010-2011

Bacino idrografico

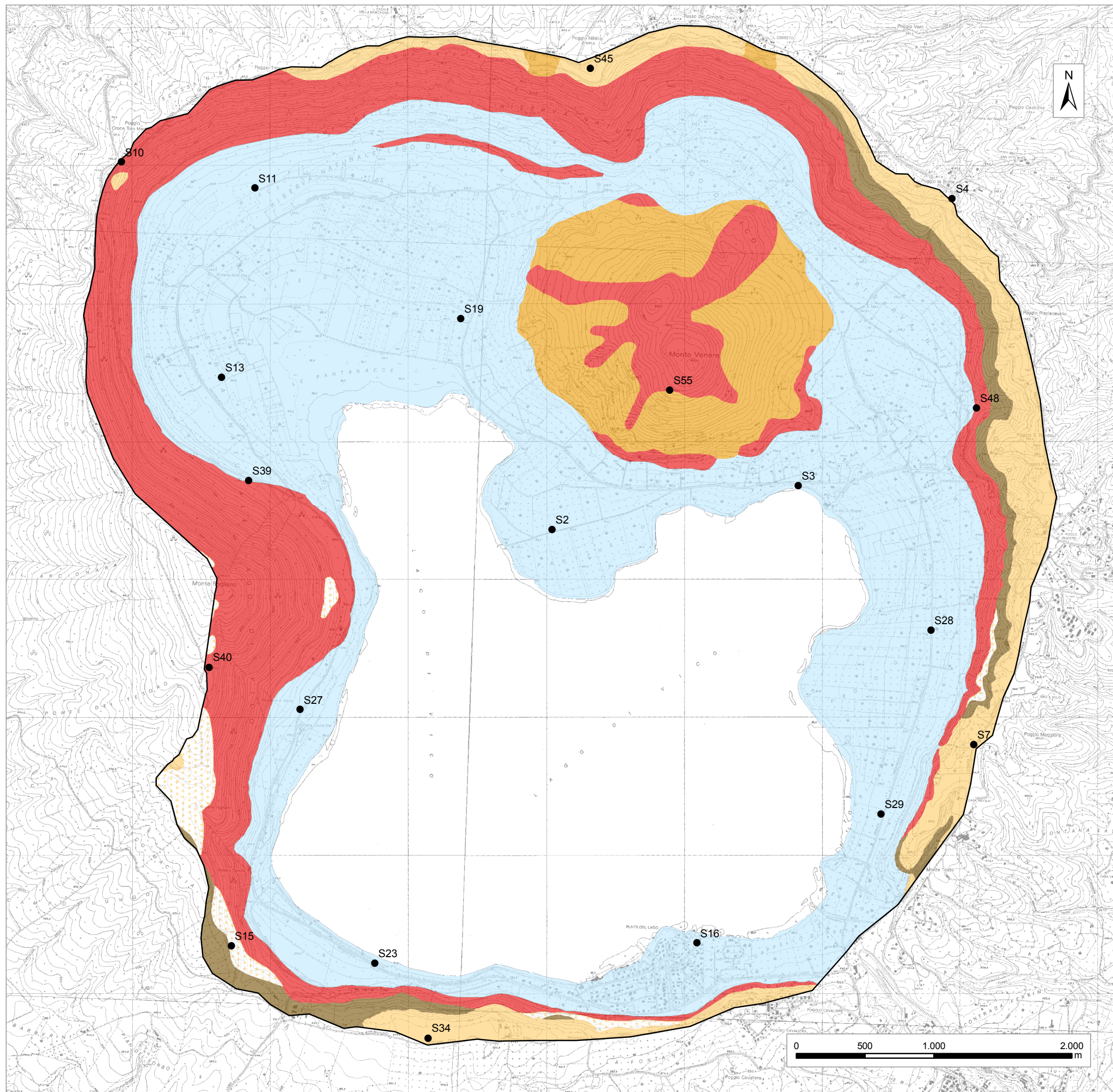



Bacino del Lago di Vico (VT)
Piano della Caratterizzazione
Ai sensi del D.Lgs. 152/2006

Tav. 02
Caratterizzazione dei terreni


Marzo 2012

Documento di proprietà ARPA Lazio





Descrizione delle Litologie


Modificato da "Carta della Geodiversità dei distretti vulcanici Cimino e Vicano, Cimarelli - de Rita, 2008"


 Alluvioni, depositi lacustri e detrito di versante.


Distretto Vulcanico Vicano


 Depositi freatomagmatico e di colata piroclastica di grande volume ed estensione.

 Depositi freatomagmatico e di colata piroclastica di estensione limitata e volume modesto.

 Materiali di ricaduta al suolo sotto l'influenza di gravità dopo essere stati trasportati in alto da colonne eruttive sostenute.

 Colate piroclastiche litoidi cementate

 Colate di lava da medie a sottosature

 Bacino idrografico

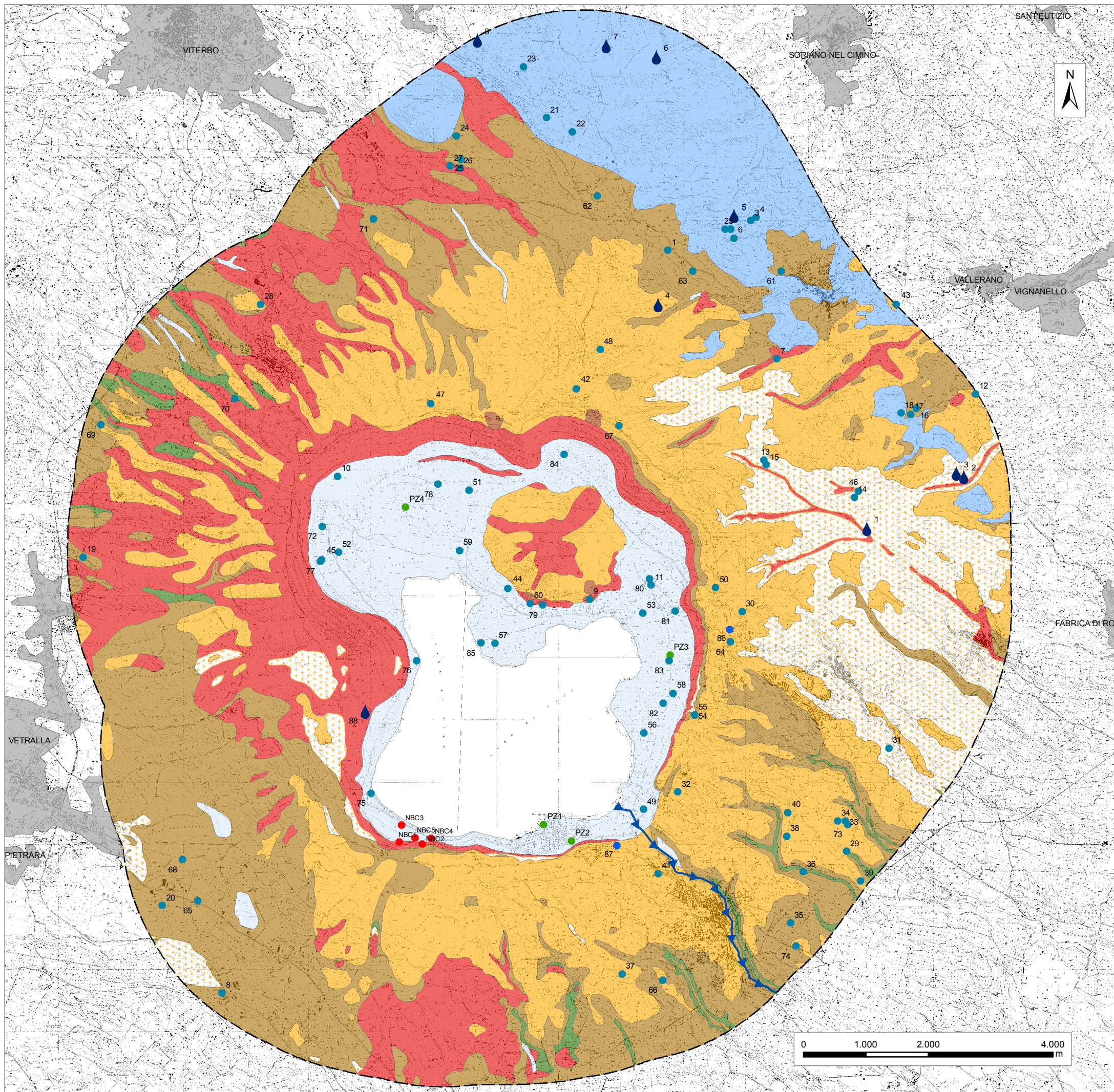
 Prove di assorbimento su pozzetti superficiali



Bacino del Lago di Vico (VT)
Piano della Caratterizzazione
Ai sensi del D.Lgs. 152/2006

Tav. 03

Determinazione della conducibilità idraulica



Descrizione delle Litologie

Modificato da "Carta della Geodiversità dei distretti vulcanici Cimino e Vicano, Cimarelli - de Rita, 2008"

- Alluvioni, depositi lacustri e detrito di versante.
- Distretto Vulcanico Cimino**
- Colate, Ignimbriti, Duomi
- Distretto Vulcanico Vicano**
- Depositi freatomagmatico e di colata piroclastica di grande volume ed estensione
- Depositi freatomagmatico e di colata piroclastica di estensione limitata e volume modesto
- Materiali di ricaduta al suolo sotto l'influenza di gravità dopo essere stati trasportati in alto da colonne eruttive sostenute
- Colate piroclastiche litoidi cementate
- Colate piroclastiche prevalentemente pozzolanacee
- Colate di lava da medie a sottosature
- Limite dell'area di studio delle acque sotterranee

Punti di monitoraggio

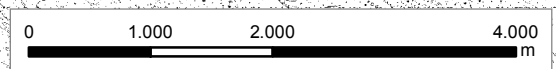
- Sorgenti puntuali
- Piezometri previsti nel PdC sito N.B.C.
- Pozzi preesistenti
- Piezometri previsti dal presente piano d'indagine
- Sorgenti Lineari

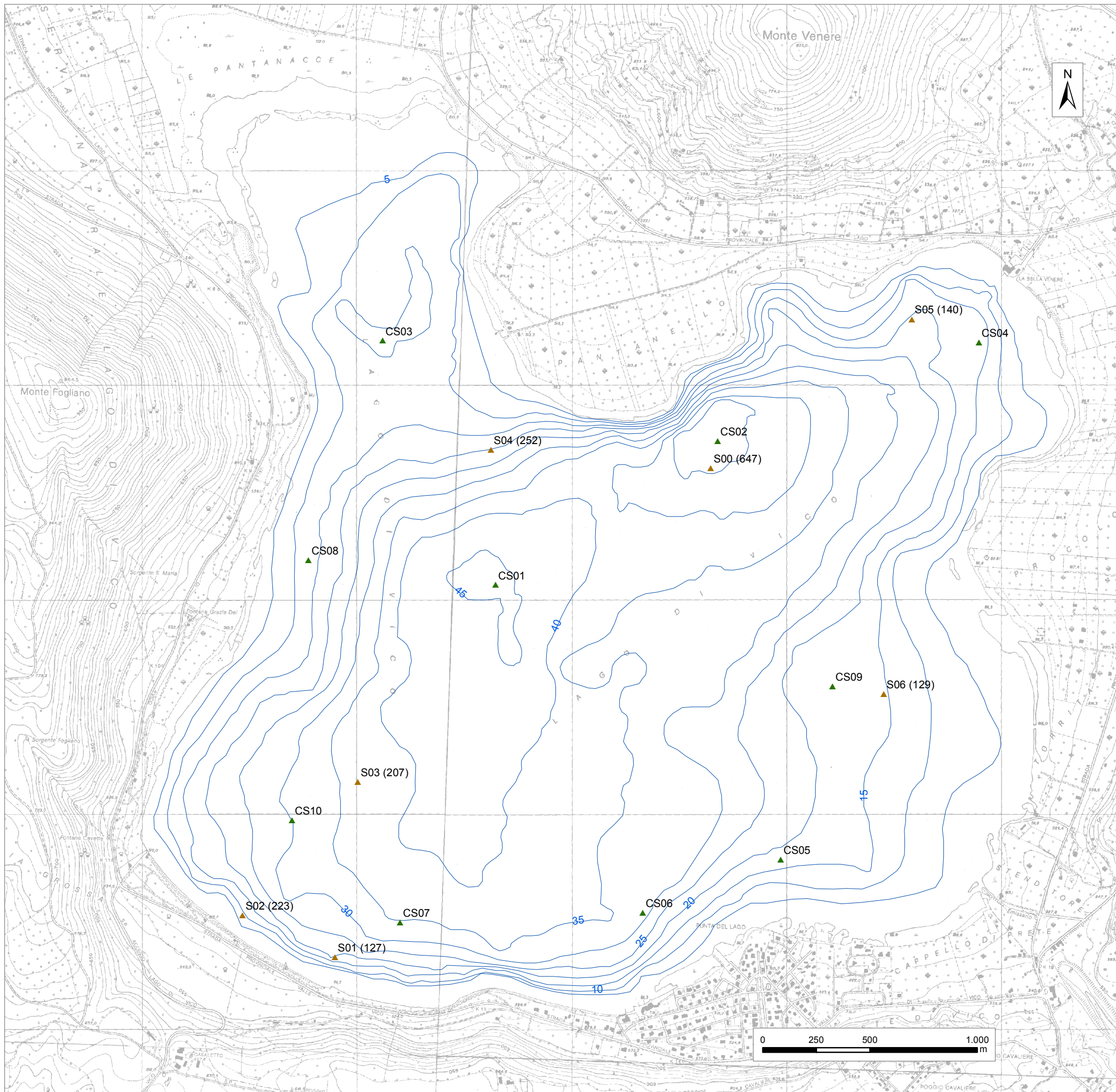


Bacino del Lago di Vico (VT)
 Piano della Caratterizzazione
 Ai sensi del D.Lgs. 152/2006

Tav. 04

Monitoraggio acque sotterranee





Punti di campionamento

▲ Postazioni del monitoraggio ARPA - Provincia VT 2009-2010, tra le parentesi la concentrazione di As in mg/kg ss.

▲ Ubicazione dei campionamenti da realizzare

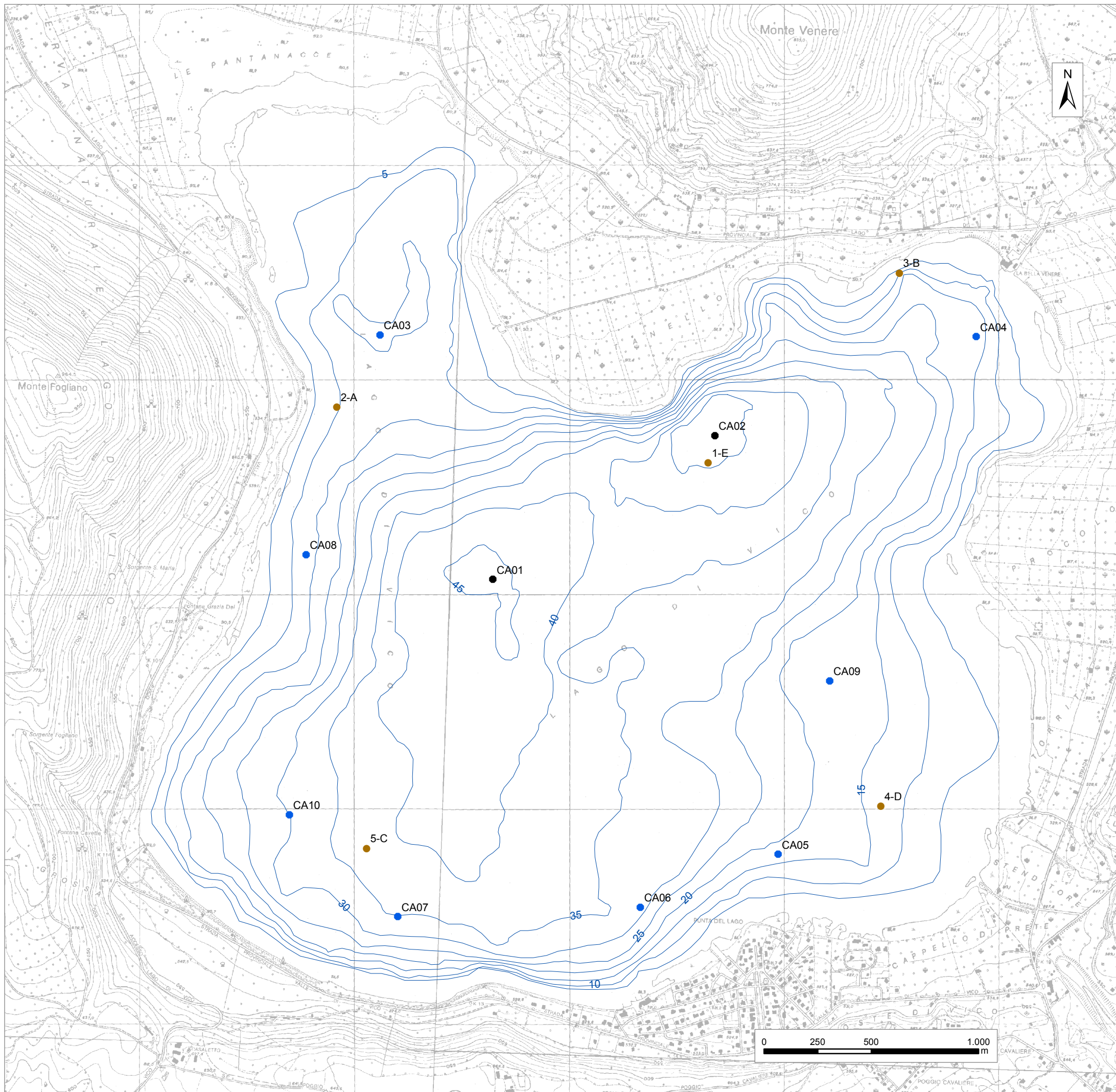
— Isobate (da Leone, 2001)



Bacino del Lago di Vico (VT)
Piano della Caratterizzazione
Ai sensi del D.Lgs. 152/2006

Tav. 05

Caratterizzazione sedimenti lacustri



Punti di campionamento

- A profondità discrete, sulla colonna d'acqua
- Superficiali
- Postazioni del monitoraggio ARPA - Provincia VT 2009-2010

— Isobate (da Leone, 2001)



Bacino del Lago di Vico (VT)
Piano della Caratterizzazione

Ai sensi del D.Lgs. 152/2006

Tav. 06

Caratterizzazione delle acque lacustri