

REPORT

La caratterizzazione del bacino del lago di Vico (ai sensi dell'art. 242 del d.lgs. 152/06)



2018



ARPALAZIO

AGENZIA REGIONALE PROTEZIONE AMBIENTALE DEL LAZIO



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

REPORT

La caratterizzazione del bacino del lago di Vico

(ai sensi dell'art. 242 del d.lgs. 152/06)

2018

La caratterizzazione del bacino del lago di Vico (ai sensi dell'art. 242 del d.lgs. 152/06)

Rapporto a cura di:

ARPA Lazio

Servizio Tecnico – Area programmazione e indirizzo delle attività tecniche

Dipartimento stato dell'ambiente - Servizio suolo e bonifiche

Simone Dionisi

Mauro D'Angelantonio

RIASSUNTO

Il documento che di seguito viene proposto rappresenta una sintesi tecnico-descrittiva dell'attività di caratterizzazione che l'ARPA Lazio ha eseguito dal 2011 al 2017 presso il bacino del lago di Vico (VT). La suddetta attività tecnica è parte integrante della convenzione stipulata tra la Regione Lazio e l'ARPA Lazio per la redazione del Piano di caratterizzazione del lago di Vico.

In particolare tale attività di indagine ambientale si rende necessaria poiché, a seguito di una verifica condotta dai tecnici dell'ARPA Lazio sui sedimenti del lago, vengono rilevati nel punto di massima profondità delle acque del medesimo lago valori anomali di metalli pesanti (arsenico, cadmio, nichel) risultati superiori ai valori delle CSC definiti in tabella 1 dell'allegato 2 alla parte IV – titolo V del d.lgs. 152/06. L'ARPA Lazio, così come previsto dalla normativa vigente in materia, ha provveduto nel 2010 a comunicare, ai sensi dell'art. 244 del d.lgs. 152/06, a tutte le autorità competenti i risultati dell'attività di indagine.

Gli esiti del piano di indagine di cui al Piano di caratterizzazione, approvato nell'ambito dei lavori della Conferenza dei servizi tenutasi il 3 maggio 2012 presso la Regione Lazio, ha portato a definire il valore di fondo naturale del suolo dell'area investigata per il parametro arsenico (As), a stabilire che le specie predominanti riscontrate nelle acque indagate sono quelle dell'As+5 riconosciuto come meno tossico della forma ridotta As+3, all'esclusione di presenza di anomalie magnetiche riconducibili a corpi sommersi nel lago, alla datazione al radiocarbonio (¹⁴C), dei quattro campioni di sedimento prelevati dalle due postazioni più profonde del lago di Vico e infine alla definizione di un modello geochimico e idrogeologico del lago di Vico.

Parole chiave: bonifiche, siti contaminati

Contatti autori:

simone.dionisi@arpalazio.gov.it

mauro.dangelantonio@arpalazio.gov.it

ARPA Lazio – 2018



Quest'opera è distribuita con Licenza
[Creative Commons Attribuzione 3.0 Italia](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/it/)

Coordinamento editoriale: ARPA Lazio – Area sistemi operativi e gestione della conoscenza

Foto di copertina: Panoramica bacino del lago di Vico – Foto di S. Dionisi, ARPA Lazio

Tutte le fotografie pubblicate, laddove non diversamente riportato, sono dell'Archivio fotografico dell'ARPA Lazio

Progetto grafico e stampa: Revelox - Roma

INDICE

LEGENDA	4
INTRODUZIONE	5
1. INQUADRAMENTO GENERALE	7
1.1. Inquadramento geografico	7
1.2. Inquadramento geologico-strutturale	8
1.3. Morfologia del bacino e batimetria del lago	12
1.4. Inquadramento idrogeologico e bilancio	13
1.5. Copertura e uso del suolo	16
2. IL MODELLO CONCETTUALE PRELIMINARE	19
2.1. Potenziali percorsi di migrazione e bersagli	20
3. PIANO D'INDAGINE E RISULTATI	23
3.1. Rilievo batimetrico e magnetometrico	23
3.2. Monitoraggio idrochimico delle acque superficiali	24
3.3. Caratterizzazione del suolo superficiale	26
3.4. Caratterizzazione del suolo profondo	26
3.5. Caratterizzazione del sedimento lacustre	27
3.6. Ricostruzione geologico-stratigrafica	27
3.7. Monitoraggio acque sotterranee	27
4. VALUTAZIONI CONCLUSIVE	29
INDICE DELLE FIGURE	31
INDICE DELLE TABELLE	31

LEGENDA

Acronimo	Definizione
AdR	Analisi di Rischio
As	Arsenico
CeTLI	Centro Tecnico Logistico Interforze
CSC	Concentrazione Soglia di Contaminazione
CSR	Concentrazione Soglia di Rischio
DL	Direzione Lavori
DT	Direzione Tecnica
MCD	Modello Concettuale Definitivo del sito
pc	Piano Campagna
PdC	Piano della Caratterizzazione
RTD	Relazione Tecnica Descrittiva
SIT	Sistema Informativo Territoriale
SS	Suolo Superficiale
TS	Top Soil

INTRODUZIONE

Il presente documento sintetizza il risultato dell'attività di indagine prevista nel Piano di caratterizzazione del bacino del lago di Vico redatto, ai sensi dell'art. 242 del d.lgs. 152/2006, in conformità alle indicazioni tecniche contenute nell'allegato 2 al titolo V della parte quarta del medesimo decreto.

Al riguardo si ritiene opportuno evidenziare che la procedura amministrativa per il sito oggetto di studio, normata dall'art. 242 del succitato decreto, 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'allegato 5 al titolo V della parte quarta, CSC previste per il "suolo e il sottosuolo" di "siti a uso verde pubblico, privato e residenziale"; i parametri non conformi sono risultati essere il cadmio, il nichel e l'arsenico.

A tal proposito va precisato che il confronto delle concentrazioni rilevate in una matrice ambientale non normata (sedimenti lacustri) con il riferimento normativo previsto per suoli di siti a 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.

Va altresì puntualizzato che 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 sono state finalizzate alla valutazione degli equilibri geochimici del sistema lago-sedimenti e dell'acquifero circostante.

Pertanto il presente documento costituisce la Relazione Tecnica Descrittiva (RTD) delle attività di campo e di laboratorio svolte dal personale dell'ARPA Lazio.

1. INQUADRAMENTO GENERALE

1.1 Inquadramento geografico

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.

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).

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 a una quota di circa 510 m s.l.m., come indicato da tutte le fonti bibliografiche consultate.

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.

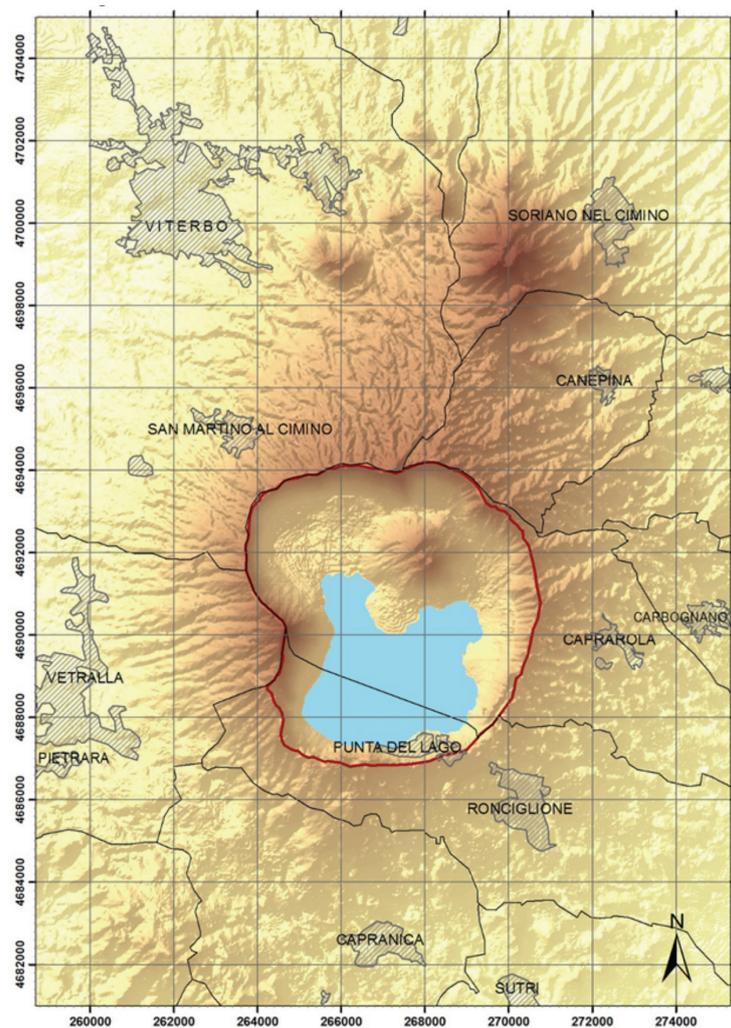


Figura 1 - Inquadramento geografico del lago di Vico, limiti comunali (linea nera), principali aree urbanizzate e limite della Riserva (linea rossa); coordinate UTM zona 33 ED50, maglia reticolo 2 km

1.2 Inquadramento geologico-strutturale

Il bacino del lago di Vico, preso in considerazione ai fini 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 ignimbriche 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.

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).

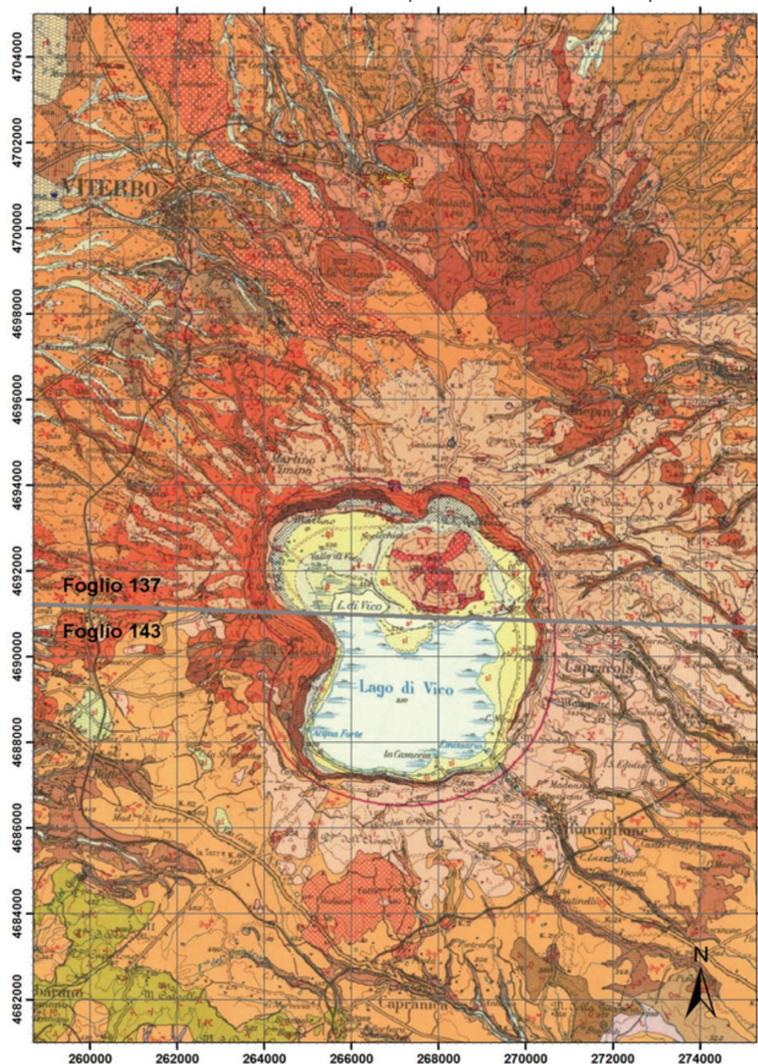


Figura 2 - Stralcio scalato della Carta Geologica d'Italia al 100k relativo alla zona di interesse (da fogli 137 e 143); coordinate in metri (UTM zona 33, ED50), reticolo con maglia 2 km x 2 km

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.
	(τ 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 pendii pericalderici. 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).
	(Δθ) Tefriti fonolitiche e fonoliti tefritiche con grosse ed abbondanti leuciti, con o senza sanidini ("occhio di pesce" od "occhiadina" dei locali), compatte o ampiamente arenizzate. Serie di più colate di 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 Lq affiorano nella fascia intercalderica.
	(Ti) Complesso tufaceo composito, comprendente tutti i tipi sopradescritti, con prevalenza di tipi trachitico-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", calcarei marnosi di tipo "pietra paesina", con intercalazioni di argilloscisti varicolori, calcareniti talora con selce, arenarie giallastre e brecce nummulitiche (E-PC a luoghi passanti a grosse lenti di argilloscisti siltosi bruni o varicolori (Ea)

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

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 olivin-latitiche in espandimenti 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*).

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 ignimbritiche proposte nei tre lavori più significativi sono sintetizzate in Tabella 2.

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	Tufo grigio vicano	Fase 3 (0.2 – 0.15 Ma) Ignimbriti A, B, C e D
Ignimbrite B	Tufo rosso a scorie nere	
Ignimbrite C	Tufo litoide non stratificato biancastro	
Ignimbrite D	Tufo biancastro sottilmente stratificato	
Attività di monte Venere	Tufi stratificati di monte Venere	Fase 4 (0.15 – 0.06 Ma) Fase postcalderica o di monte Venere

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

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 3).

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 pomici 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 eretto 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 ignimbritiche 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 pomici 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 e allargamenti successivi a 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 del vulcano di Vico (Locardi, 1965); l'area è a tutt'oggi interessata da note manifestazioni idrotermali, a dimostrazione che il sistema dinamico non ha ancora raggiunto un definitivo equilibrio.

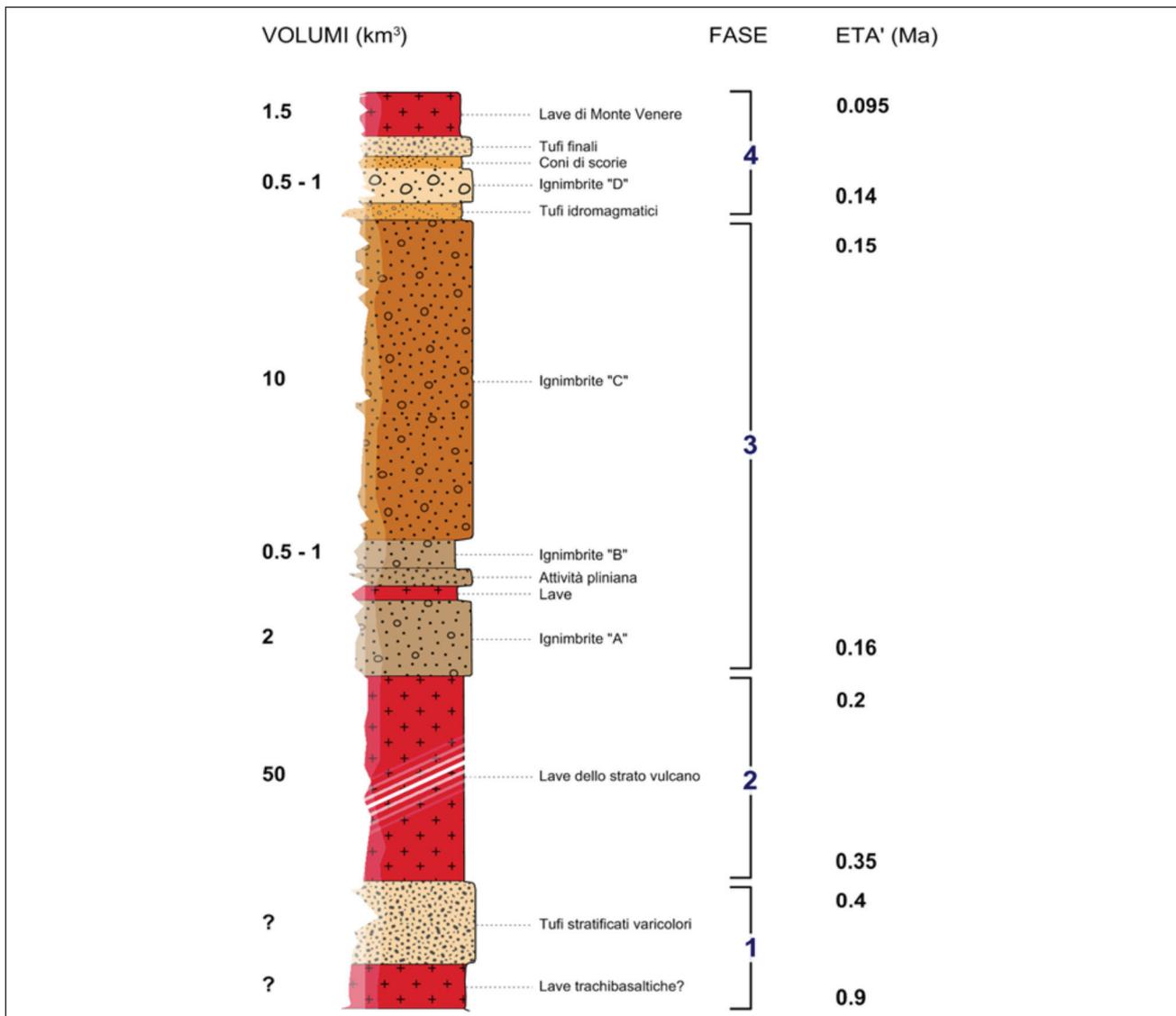


Figura 3 - Colonna stratigrafica riassuntiva delle fasi di attività del vulcano di Vico, con indicazione delle età radiometriche al K/Ar e stima dei volumi disclocati; modificata da Cimarelli et al., 2008.

1.3 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.

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 ignimbritiche che ne hanno caratterizzato l'attività.

All'interno della caldera, nel settore NE, 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.

Di seguito viene riportata la carta batimetrica che è stata realizzata dall'Università della Tuscia acquisendo circa 1300 punti con un'imbarcazione attrezzata per il rilevamento in tempo reale delle profondità e della posizione ed elaborando criticamente i dati con un algoritmo interpolativo geostatistico (kriging); la carta è caratterizzata da un errore medio di 3 m e risulta quantitativamente e qualitativamente coerente con la ricostruzione storica (Barbanti, 1968).

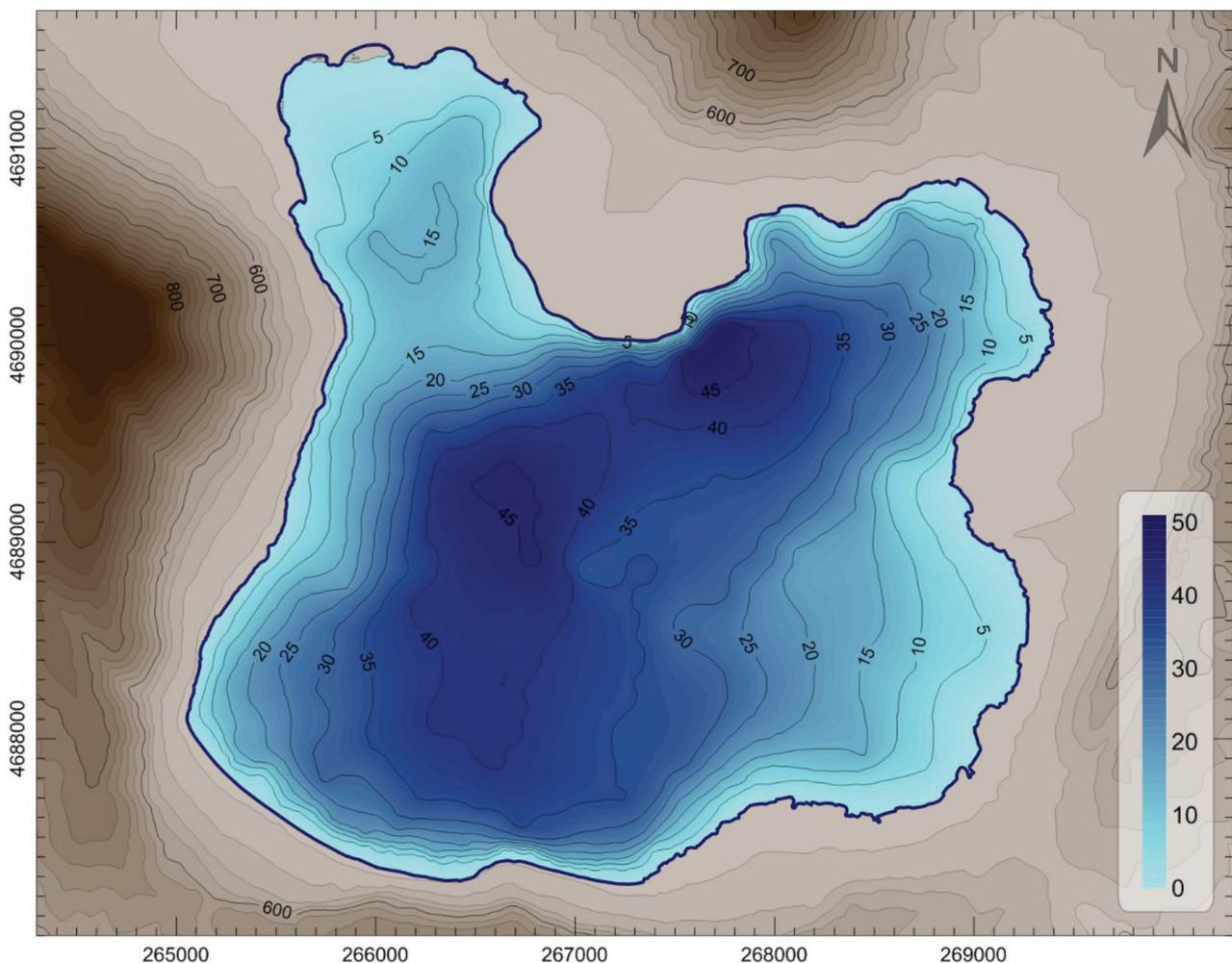


Figura 4 - Batimetrica ricostruita dall'Università della Tuscia (modif. da Leone, 2001)

1.4 Inquadramento idrogeologico e bilancio

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 un'articolata coltre sedimentaria prevulcanica basso-trasmissiva 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 5 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 a est e verso il bacino del fiume Marta a ovest, con risorgenze delle acque in forma sia puntuale (rappresentate in mappa da cerchi colorati) che lineari (rappresentata in mappa da curve tratteggiate verdi).

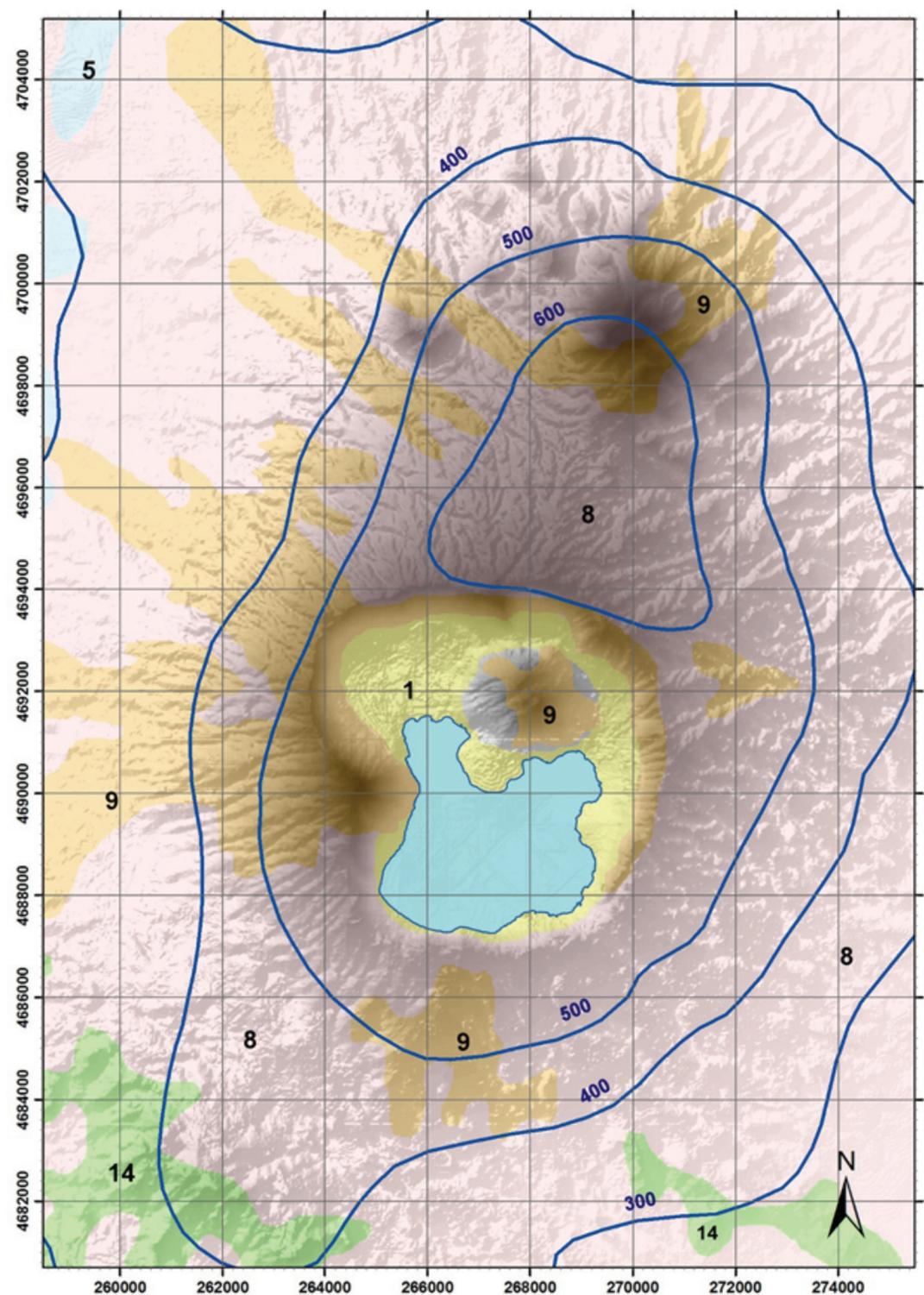


Figura 5 - Stralcio scalato della carta idrogeologica del territorio della regione Lazio (modificato da Boni et al., 1988); passo isopieze 100 m, coordinate in m (UTM 33, ED50), reticolo con maglia 2 km

Lo studio idrogeologico più recente e di maggior dettaglio (Capelli et al., 2007) propone una ricostruzione piezometrica (Figura 6) basata sull'interpolazione di 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 6 dalla linea continua rossa.

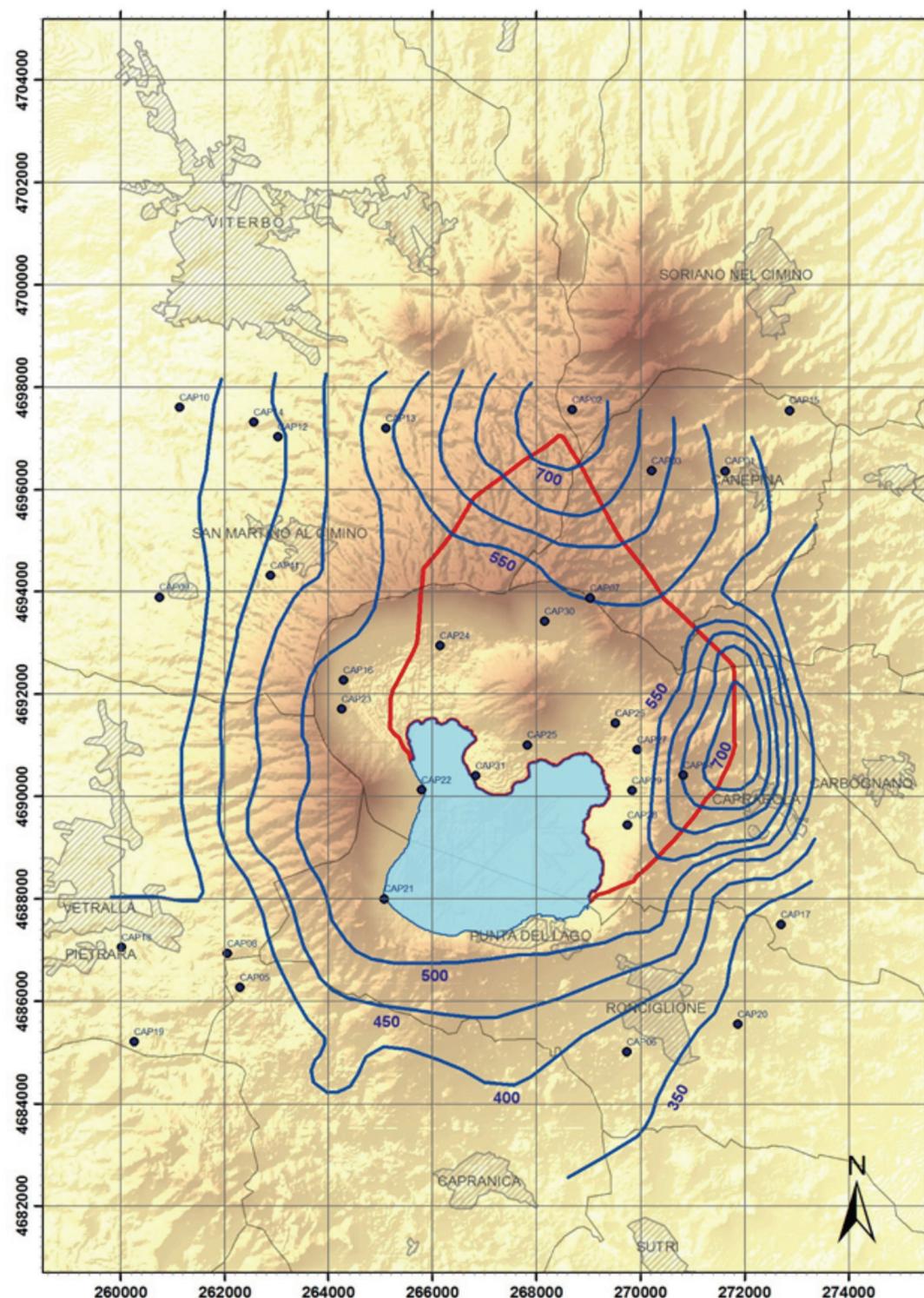


Figura 6 - Ricostruzione della piezometria di luglio 2006 nell'area Cimino-Vicana (modificata da Capelli et al., 2007); passo isopieze 50 m, coordinate in m (UTM 33, ED50), reticolo con maglia 2 km

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 dalla 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.

1.5 Copertura e uso del suolo

Come illustrato in Figura 7, 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 del 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 Figura 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 7, 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.

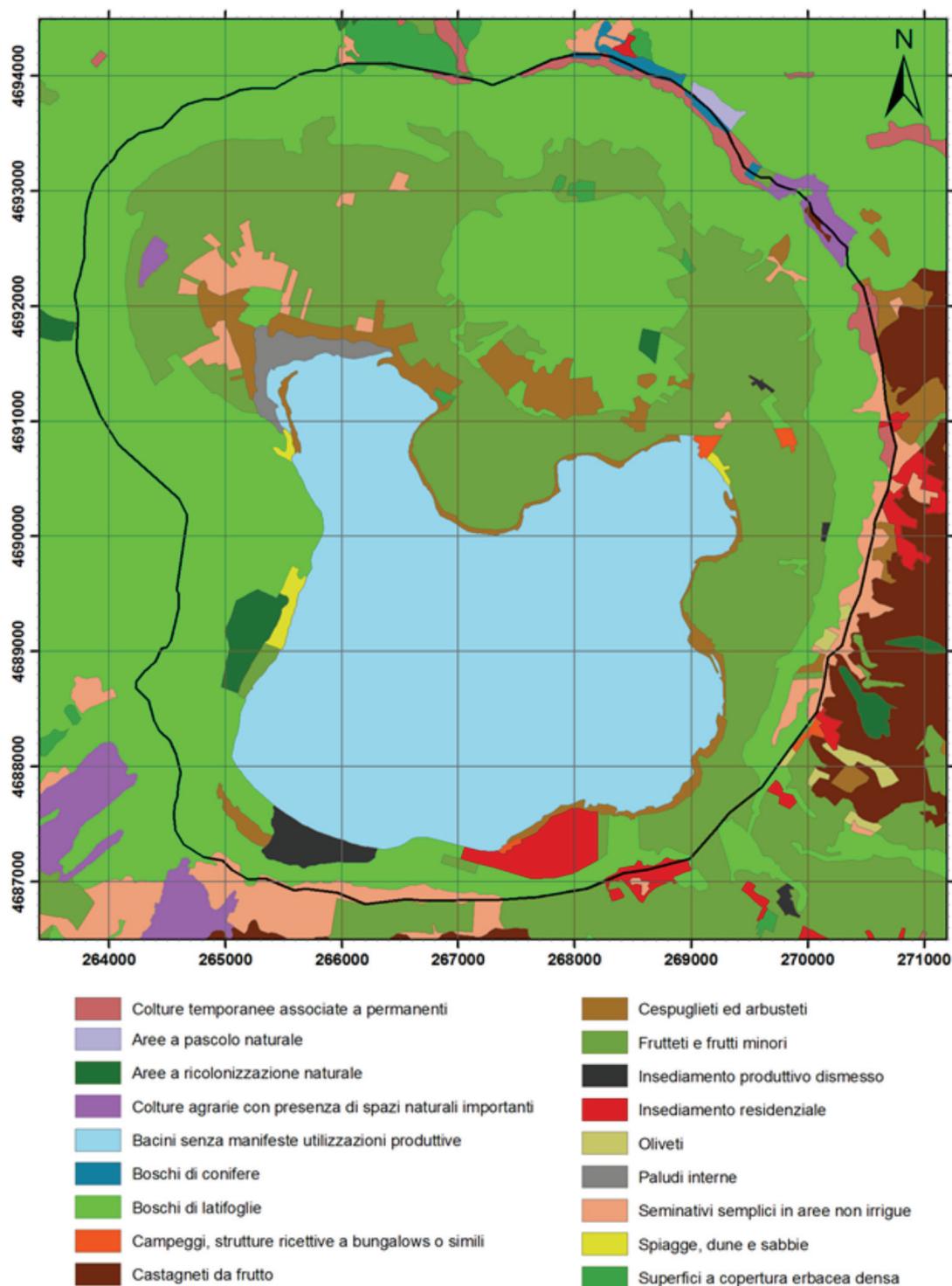


Figura 7 - Utilizzo del suolo all'interno del bacino idrografico del lago di Vico; elaborazione basata sulla Carta dell'Uso del Suolo della Regione Lazio del 2003; coordinate in m (UTM 33, ED50), reticolo con maglia da 1 km

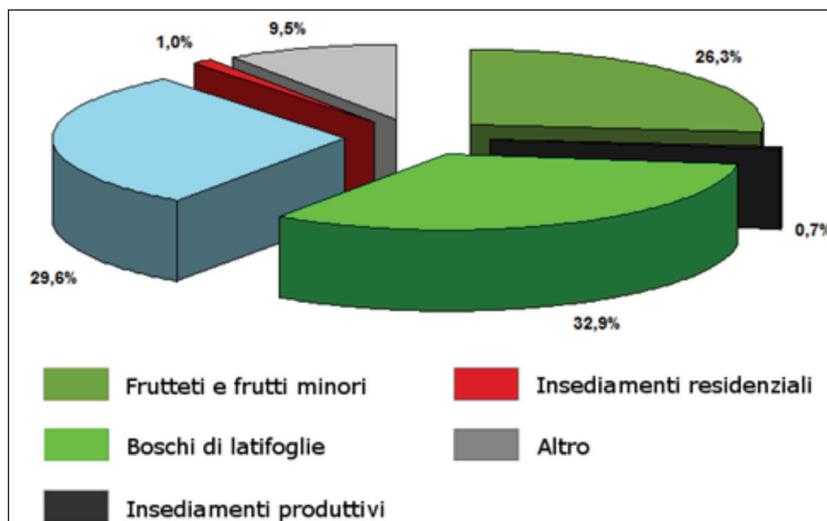


Figura 8 - Ripartizione del coefficiente di copertura del suolo all'interno del bacino del Lago di Vico tra gli utilizzi principali definiti dalla Carta dell'Uso del Suolo della Regione Lazio del 2003

2. MODELLO CONCETTUALE E PRELIMINARE

Come previsto nell'allegato 2 al titolo V della parte quarta del Testo Unico ambientale, "Criteri generali per la caratterizzazione dei siti contaminati", sulla base dei dati esistenti e preliminarmente alla definizione del piano di indagine, è stato formulato un "modello concettuale preliminare del sito" (MCPS), ossia una schematizzazione che consente 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.

Rispetto ai siti contaminati abitualmente considerati dalla normativa in materia di bonifiche, nel caso oggetto di studio si è riscontrata un'evidente difficoltà nella definizione del MCPS, dovuta sia all'estensione del sito sia alle sue particolarissime caratteristiche morfologiche, geologiche e idrogeologiche.

I dati disponibili, derivanti da attività di indagine (pregresse e in corso) con diverse caratteristiche e finalità, hanno comunque consentito 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.).

Premesso quanto sopra e tenuto conto della normativa di riferimento per i siti contaminati (d.lgs. 152/2006, titolo V della parte quarta), nella fase di formulazione del modello concettuale preliminare le matrici ambientali interessate dalla presenza di contaminanti con concentrazioni superiori ai valori limite CSC sono risultate essere:

- terreni (suolo e sottosuolo) interni al bacino idrografico, in relazione a un uso "verde pubblico e residenziale"
- acque sotterranee (e quelle superficiali direttamente alimentate)
- sedimenti di fondo lago¹.

Si riporta di seguito una sintesi per matrice ambientale dei risultati più significativi delle indagini effettuate sull'area in esame utilizzati per la definizione del modello concettuale preliminare.

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

¹ Assimilati ai suoli in assenza di riferimenti normativi specifici

dei limiti normativi per il parametro arsenico su tre campioni prelevati in due 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 dall'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.

Tra febbraio 2009 e gennaio 2010 è stata rilevata occasionalmente la presenza del mercurio in quattro 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.

Nelle campagne di campionamento dell'ottobre 2010 e dell'aprile 2011 è stata rilevata la presenza di atrazina in sei campioni su dieci 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 Lazio – Sezione di 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 orientale 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 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".

2.1 Potenziali percorsi di migrazione e bersagli

Considerando la natura dei contaminanti e le condizioni geomorfologiche al contorno, sono stati ipotizzati 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 è stato considerato l'acquifero vulcanico superficiale come primo bersaglio della contaminazione. Di conseguenza è stato 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.

3. PIANO D'INDAGINE E RISULTATI

Al fine di valutare l'eventuale compromissione delle matrici ambientali nell'area oggetto del presente studio, è stata 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 ha previsto l'esecuzione delle seguenti attività:

- rilievo batimetrico e magnetometrico del lago di Vico
- 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
- 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
- prelievo di campioni di sedimento lacustre mediante un campionatore a caduta per la ricerca dei contaminanti eventualmente presenti e per la valutazione eco tossicologica
- ricostruzione geologico-stratigrafica dell'area di studio tramite la realizzazione di sondaggi geognostici spinti a una profondità massima di 60 m dal p.c.
- 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.

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

3.1 Rilievo batimetrico e magnetometrico

Tale attività è stata utilizzata per effettuare una ricostruzione dettagliata della morfologia del fondo lago e per escludere la presenza di anomalie magnetiche riconducibili a corpi sommersi correlabili ad attività non documentate relativamente all'ex magazzino materiali Difesa NBC.

La succitata attività, disciplinata da apposita convenzione di consulenza scientifica, è stata svolta dall'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero (IAMC) del CNR di Napoli.

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

L'estensione finale dell'area investigata risulta pari a 5,8 Km², corrispondente al 48,5 % della superficie totale dello specchio d'acqua (11,9 Km²); per quanto la copertura non sia totale, l'indagine ha comunque coperto:

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



Figura 9 - Area investigata

3.2 Monitoraggio idrochimico delle acque superficiali

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

- quattro campagne di prelievo con cadenza trimestrale nell'arco dell'anno di osservazione in due 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)
- otto 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.

Il prelievo dei campioni delle acque lacustri è stato effettuato con l'ausilio di un'imbarcazione adeguatamente attrezzata sia da un punto di vista tecnico, che in riferimento ai dispositivi di sicurezza. In riferimento al Manuale APAT "Metodi Biologici per le acque, Parte I", il campione è stato prelevato con l'ausilio di un campionatore selettivo di tipo Niskin. Per la caratterizzazione delle acque lacustri sono state selezionate 10 stazioni di campionamento in punti a maggior rappresentatività per l'eventuale contaminazione del corpo idrico e per le misure dei parametri chimici e chimico-fisici necessari alla definizione del modello idrogeochimico del lago di Vico.

Sono state inoltre effettuate specifiche valutazioni riguardo la geochimica dell'arsenico (As) e le abbondanze relative di arsenico trivalente As(III) e pentavalente As(V).

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

ID	Parametro	SET	Metodiche applicabili
1	Solidi disciolti totali	set-01	APAT CNR IRSA 2090A/03
2	Alcalinità	set-01	APAT CNR IRSA 2010/03
3	COD	set-01	APAT CNR IRSA 5130/03
4	TOC	SET 1+SET 2	APAT CNR IRSA 5040/03
5	Calcio	set-01	APAT CNR IRSA 3030/03
6	Magnesio	set-01	APAT CNR IRSA 3030/03
7	Sodio	set-01	APAT CNR IRSA 3030/03
8	Potassio	set-01	APAT CNR IRSA 3030/03
9	Ione ammonio	set-01	APAT CNR IRSA 4030/03
10	Silice	set-01	APAT CNR IRSA 4130/03
11	Bicarbonati	set-01	APAT CNR IRSA 2040/03
12	Fluoruri	set-01	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-01	EPA 9056A/00 - APAT CNR IRSA 4020/03
15	Nitrati	set-01	EPA 9056A/00 - APAT CNR IRSA 4020/03
16	Bromuri	set-01	EPA 9056A/00 - APAT CNR IRSA 4020/03
17	Ortofosfati	set-01	APAT CNR IRSA 4110A/03
18	Solfati	set-01	EPA 9056A/00 - APAT CNR IRSA 4020/03
19	Alluminio	set-01	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
20	Antimonio	set-01	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
21	Argento	set-01	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-01	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
24	Berillio	set-01	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
25	Boro	set-01	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-01	EPA 6020A/07
28	Cobalto	set-01	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
28	Cromo totale	set-01	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
29	Ferro	set-01	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
30	Gallio	set-01	EPA 6020A/07
31	Indio	set-01	EPA 6020A/07
32	Litio	set-01	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
33	Manganese	set-01	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
34	Mercurio	set-01	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
35	Molibdeno	set-01	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-01	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
39	Rubidio	set-01	EPA 6020A/07
40	Selenio	set-01	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
41	Stagno	set-01	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
42	Stronzio	set-01	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
43	Tallio	set-01	EPA 6020A/07
44	Tungsteno	set-01	EPA 6020A/07
45	Uranio	set-01	EPA 6020A/07
46	Vanadio	set-01	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
47	Zinco	set-01	EPA 6020A/98 - APAT CNR IRSA SEZ. 3000
48	Alifatici clorurati	set-01	EPA 624 APAT CNR IRSA 5150

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

3.3 Caratterizzazione del suolo superficiale

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

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

Inoltre sono stati eseguiti venti test per la valutazione della conducibilità idraulica del suolo superficiale ("infiltrazione").

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

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

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

Per ciascun punto di prelievo sono stati acquisiti:

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

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

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

Per la validazione scientifica dei risultati ottenuti ci si è avvalsi del contributo scientifico dell'Università di Tor Vergata.

3.4 Caratterizzazione del suolo profondo

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

L'indagine geognostica eseguita è stata finalizzata a:

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

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

3.5 Caratterizzazione del sedimento lacustre

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

I campioni di sedimento sono stati sottoposti ad analisi chimiche e, in numero ridotto, anche ad analisi radiometrica per la datazione dei relativi orizzonti.

In particolare gli IPA sono stati determinati solo sui campioni rappresentativi del top mentre gli alifatici clorurati sono stati ricercati esclusivamente sui due campioni prelevati in prossimità dell'ex magazzino materiali Difesa NBC.

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

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

3.6 Ricostruzione geologico-stratigrafica

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

Schematicamente le stratigrafie ottenute evidenziano che:

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

3.7 Monitoraggio acque sotterranee

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

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

- campagna n. 1, trimestre "autunnale": 8 postazioni campionate nel periodo tra settembre e dicembre (2013)
- campagna n. 2, trimestre "invernale": 13 postazioni campionate nel periodo tra dicembre 2014 e marzo 2015
- campagna n. 3, trimestre "primaverile": 13 postazioni campionate tra maggio e giugno 2015

-
- campagna n. 4, trimestre "estivo": 12 postazioni campionate su 14 previste: il Pz22 della sorgente termale del Centro Studi Fogliano, risultata inattiva, e il Pz51 (pozzo profondo del convento S. Angelo) presentava nuovamente problemi di quadro elettrico dovuti ad atti vandalici.

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

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

- prove di emungimento di lunga durata su 10 pozzi (single well) con misura della risalita per la determinazione della trasmissività idraulica e del coefficiente di immagazzinamento
- test di diluizione su pozzo singolo, eseguiti su due 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.

4. VALUTAZIONI CONCLUSIVE

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

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

- definire il valore di fondo naturale del suolo dell'area investigata per quanto riguarda l'analita arsenico. Al riguardo infatti, in accordo con le linee guida APAT-ISS (2006), il valore di concentrazione rappresentativa del fondo naturale per l'arsenico è stato definito pari al 95° percentile delle concentrazioni misurate nelle aree naturali (AR1). Avendo a riferimento i dati misurati nella fase di caratterizzazione delle matrici ambientali dell'area, il valore di fondo è stato determinato in 110,3 mg/kg s.s. (vedi studio università Tor Vergata). Tale dato, così come previsto dal d.lgs.152/06 e come riportato nel piano approvato, è stato utilizzato come riferimento per la valutazione della qualità dei suoli nelle aree agricole (AR2) e nelle aree residenziali e produttive (AR3). Dal confronto non sono emerse condizioni di contaminazione diffusa, visto che tutti i valori riscontrati in fase di indagine nelle aree agricole (A2) sono risultati inferiori a tale dato di riferimento. Sono invece stati registrati tre modesti superamenti nelle aree residenziali e produttive (AR3) in corrispondenza di sue sondaggi: S21 (sia nel TS che nel SS) e S16 per il solo TS per la cui ubicazione si rimanda alle cartografie allegate. In merito a tali superamenti occorre evidenziare come nella effettiva valutazione delle concentrazioni di arsenico (S21 -pari a 115,1 mg/kg nel TS e a 142,1 mg/kg nel SS e in S16 - pari a 121,8 mg/kg nel TS) non si possa non tener conto del fatto che l'intera area è di origine vulcanica ed è quindi caratterizzata da valori significativi del metalloide anche in zone mai interessate da attività umane (valori fino a 309,3 mg/kg)
- data l'importanza in termini tossicologici in relazione alle diverse forme di arsenico, nel corso dello studio si è intrapresa un'attività di speciazione dello stesso nei complessi acquosi e fasi minerali. Lo studio eseguito dall'Università di Roma "La Sapienza" su campioni di acqua sotterranea e superficiale ha evidenziato come gli indici di saturazione mostrano condizioni di forte sotto-saturazione delle acque rispetto ai minerali di As più comuni, quali arsenolite, As_2O_5 e As_native . Gli indici di saturazione (SI) fortemente negativi di tali minerali sono dovuti probabilmente alla mancanza delle condizioni di pH ed Eh adatte alla loro formazione. L'elevata mobilità dell'As per valori di pH prossimi alla neutralità fino a leggermente basici tipici delle acque sotterranee e superficiali analizzate (Smedley & Kinniburgh, 2002) facilita inoltre la tendenza di tale elemento a rimanere in soluzione. Nelle acque indagate l'arsenico è presente sempre sotto forma di complessi acquosi; in particolare sono stati osservati in ordine di abbondanza: $HAsO_4^{-2}$, $H_2AsO_4^{-}$, AsO_4^{3-} $H_3AsO_4(aq)$. Le specie predominanti riscontrate sono quelle dell'As+5, riconosciuto come meno tossico della forma ridotta (As+3)
- il rilievo batimetrico e magnetometrico del fondale del lago, eseguito per una dettagliata ricostruzione della morfologia del fondo lago e per escludere la presenza di anomalie magnetiche riconducibili a corpi sommersi correlabili ad attività non documentate relativamente all'ex magazzino materiali Difesa NBC, non ha evidenziato alcuna risposta di tipo magnetometrico
- dalla datazione al radiocarbonio (^{14}C) dei quattro campioni di sedimento prelevati dalle due postazioni più profonde del lago di Vico si sono ottenuti i seguenti risultati CS01 Top: Age (B.P.): 2850 anni +/- 80; CS01 Bottom: Age (B.P.): 8250 anni +/- 75; CS02 Top: Age (B.P.): 3020 anni +/- 50; CS02 Bottom: Age (B.P.): 7020 anni +/- 85. Tali dati dimostrano che le concentrazioni più elevate di arsenico individuate nelle porzioni più profonde delle carote di sedimento prelevate sono

riferibili a epoche in cui è certa l'assenza di ogni contributo di origine non naturale. Pertanto tutti i valori riscontrati possono essere correlati alla natura vulcanica dell'invaso

- risulta confermato che le acque del lago sono alimentate dalle acque sotterranee nel settore settentrionale, mentre è il lago ad alimentare le acque sotterranee negli altri settori. In particolare, gli apporti idrici sotterranei verso il lago risultano pari a circa $0.11 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre i flussi dal lago verso le acque sotterranee risultano pari a circa $0.38 \text{ m}^3/\text{s}$
- è stato possibile effettuare la simulazione del trasporto con l'ausilio del codice MT3DMS (Zheng e Wang 1999) v. 5.3 integrato in Groundwater Vistas (Rumbaugh e Rumbaugh 2017). Il codice MT3DMS comprende meccanismi di trasporto advettivo, dispersivo e diffusivo, presupponendo equilibrio chimico senza variazioni di densità del fluido. Riguardo all'avvezione, le equazioni sono risolte alle differenze finite. Le simulazioni del trasporto hanno previsto tre casi distinti, ovvero sono state formulate tre ipotesi di contaminazione delle acque sotterranee. Un primo caso ipotizza una sorgente diffusa di contaminazione nel settore settentrionale della caldera, dove l'uso del suolo è prevalentemente agricolo (caso 1). Un secondo caso ipotizza una sorgente puntuale di contaminazione delle acque sotterranee nel settore meridionale della caldera, dove è ubicato l'ex magazzino Difesa NBC (caso 2). Un terzo caso ipotizza contaminazione geogenica da risalite di fluidi idrotermali localizzate nell'intorno del sito dove è ubicato il pozzo con acque a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ (caso 3). Le simulazioni del trasporto hanno indicato che solo laddove la sorgente di contaminazione antropica sia ubicata nel settore settentrionale della caldera sono possibili impatti sulla qualità delle acque del lago. Invece è possibile una contaminazione geogenica di arsenico delle acque del lago da risalite di fluidi profondi attraverso le zone di fratturazione che caratterizzano l'area vulcanica. Eventuali sorgenti di contaminazione di origine antropica ubicate nei settori orientale, meridionale e occidentale della zona intracalderica avrebbero impatto solo sulla qualità delle acque sotterranee, senza interferire con quelle superficiali del lago. Al riguardo è opportuno precisare che, sebbene alla scala indagata l'affidabilità del modello risulti essere accettabile, potrebbero chiaramente essere state ignorate eterogeneità locali con conseguenti deviazioni delle direzioni di flusso e del plume di contaminazione reale rispetto a quanto simulato.

INDICE DELLE FIGURE

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.....	7
Figura 2 - Stralcio 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	8
Figura 3 - Colonna stratigrafica riassuntiva delle fasi di attività del vulcano di Vico, con indicazione delle età radiometriche al K/Ar e stima dei volumi disclocati; modificata da Cimarelli et al., 2008.	12
Figura 4 - Batimetria ricostruita dall'Università della Tuscia (modif. da Leone, 2001)	13
Figura 5 - Stralcio 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.....	14
Figura 6 - Ricostruzione della piezometria di luglio 2006 nell'area Cimino-Vicana (modificata da Capelli et al., 2007); passo isopieze 50 m, coordinate in m (UTM 33, ED50), reticolo con maglia 2 km	15
Figura 7 - 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.....	17
Figura 8 - 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	18
Figura 9 - Area investigata	24

INDICE DELLE TABELLE

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	9
Tabella 2 - Stratigrafie del complesso Vicano a confronto, modificato da Cimarelli et Al., 2008; evoluzione temporale dall'alto (formazioni più antiche) al basso (form. più recenti).....	10
Tabella 3 - Analisi eseguite sui campioni di acqua di lago (da PdC).....	25

METADATI

Titolo:	La caratterizzazione del bacino del lago di Vico (ai sensi dell'art.242 del d.lgs. 152/06)
Autore:	ARPA Lazio, Servizio tecnico ARPA Lazio, Dipartimento stato dell'ambiente
Soggetto:	Risorse idriche – Rapporti tecnici
Descrizione:	Il report rappresenta una sintesi tecnico-descrittiva dell'attività di caratterizzazione che l'ARPA Lazio ha eseguito dal 2011 al 2017 presso il bacino del lago di Vico (VT)
Editore:	ARPA Lazio
Data:	2018
Tipo:	Report ambientale
Formato:	Cartaceo, elettronico
Identificatore:	Report / Acqua_06
Lingua:	IT
Copertura:	Lazio
Gestione dei diritti:	ARPA Lazio - Agenzia regionale per la protezione ambientale del Lazio

Report - Acqua



ARPALAZIO

AGENZIA REGIONALE PROTEZIONE AMBIENTALE DEL LAZIO