

Monografie di Geologia Ambientale

Geologia Ambientale nel Lazio

A cura di
Daniele Baldi, Eugenio Di Loreto, Lorenzo Manni

Edizioni SIGEA

INTERECO
SERVIZI AMBIENTALI



DAL **1991** AL VOSTRO FIANCO NEI **SERVIZI AMBIENTALI**

INTERECO SERVIZI è un operatore leader a livello nazionale nei servizi ambientali e rappresenta un partner globale per le Imprese e per gli Enti Pubblici.

GESTIONE RIFIUTI SPECIALI

BONIFICHE E DEMOLIZIONI

CONSULENZA ED INGEGNERIA

IMPIANTI DI RECUPERO E SMALTIMENTO

Scegliere la nostra organizzazione vuol dire:

- Competitività di prezzo, grazie all'annullamento della catena di subfornitura
- Certezza nei tempi di intervento, grazie alle capacità operative dirette, che vanno dall'intervento in campo, ai trasporti,allo smaltimento finale
- Ottimale gestione dei temi della sicurezza sul lavoro e della tutela ambientale, grazie alla scelta di un unico fornitore specializzato

Intereco Servizi
Via Trieste, 12 - 00071 Pomezia (Rm)
Tel. 06 9443 880 - Fax 0774 374 112

interecoservizi.it

SIGEA • Monografie di Geologia Ambientale

Monografie di Geologia Ambientale

Geologia Ambientale nel Lazio

A cura di
Daniele Baldi, Eugenio Di Loreto, Lorenzo Manni

Edizioni SIGEA

Con il patrocinio di



















Monografie di Geologia Ambientale

Comitato scientifico
Stefano Albanese, Valeria Ancona, Anna Barra Caracciolo, Eleonora Beccaloni, Vincenzo Belgiorno, Piero Bellotti, Mario Bentivenga, Giovanni Beretta, Aldino Bondesan, Francesca Bozzano, Alessandro Bratti, Vito Bruno, Nicola Casagli, Sergio Castenetto, Rachele Castro, Giorgio Cesari, Vera Corbelli, Erasmo D'Angelis, Donatella De Rita, Rosa Maria Di Maggio, Massimiliano Fazzini, Maria Dolores Fidelibus, Fabio Garbin, Francesco De Pascale, Giuseppe Gisotti, Fabrizio Gizzi, Maurizio Guerra, Massimiliano Lega, Fabio Luino, Sergio Madonna, Carlo Manzo, Luciano Masciocco, Davide Mastroianni, Giuseppe Mastronuzzi, Federica Paglietti, Mario Parise, Fabio Pascarella, Cinzia Pasquale, Laura Passatore, Raffaele Persico, Marco Petitta, Marco Petrangeli Papini, Gianluca Pirani, Francesco Pirozzi, Sabina Porfido, Enzo Pranzini, Elisabetta Preziosi, Antonio Rusconi, Fabio Sabetta, Gabriele Scarascia Mugnozza, Andrea Sconocchia, Paolo Sconocchia, Gianluca Selicato, Silvia Serranti, Rajanandrea Sethi, Andrea Sonnino, Giuseppe Spilotro, Fabio Trincardi, Maria Cristina Tullio, Vito Felice Uricchio, Giuseppe Vadalà, Gianluca Valensise, Igor Villani, Patrizio Zucca

Comitato editoriale
Silvano Agostini, Gigliola Alessandroni, Daniele Baldi, Andro Barabesi, Francesco Cancellieri, Lella Checchi, Eugenio Di Loreto, Maria Di Nezza, Daria Durante, Ilaria Falconi, Cesare Ferone, Adele Garzarella, Enrico Gennari, Giammarco Guidetti, Alessio Iacobini, Gianluca Lattanzi, Michele Macaluso, Carlo Malgarotto, Endro Martini, Fabio Oliva, Michele Orifici, Gaetano Osso, Vincent Ottaviani, Guido Pagliaga, Silvia Paparella, Aldo Papotto, Edoardo Robortella Stacul, Orietta Sala, Gaetano Sammartino, Paolo Sassone, Stefano Sorvino, Nino Tarantino, Salvatore Valletta, Pietro Zangheri

Direttore scientifico
Vito Felice Uricchio

Direttore editoriale
Antonello Fiore

Progetto grafico e impaginazione
Pino Zarbo - Fralerighe Book Farm
www.fralerighe.it

ISBN 979-12-80-811-06-6
© copyright 2025 Edizioni SIGEA
E-mail: monografie@sigeaweb.it
Sito web: www.sigea-aps.it

In copertina: Cascata delle Barche, Amatrice (RI), Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga - (Ph D. Mancinella, Regione Lazio, Area Geodiversità e monumenti naturali)

Finito di stampare nel mese di giugno 2025 dalla Industria grafica Sagraf Srl, Capurso (BA)

Tutti i diritti sono riservati a norma di legge e a norma delle convenzioni internazionali.

Indice

Prefazione
Giuseppe Gisotti 9

Presentazione
Francesca Bozzano 10

1. AMBIENTE E AZIONI ANTROPICHE

Introduzione
a cura di Daniele Baldi 13

Primo approccio alla caratterizzazione della facies idrogeochimica dei Corpi Idrici Sotterranei della Regione Lazio
Roberto Ceccarini, Chiara Vicomanni, Alessandra Scala, Andrea Ambrosetti, Alberto Di Ludovico, Marco Le Foche 15

"VFN Valle del Sacco": roadmap per la definizione delle concentrazioni di fondo naturale nelle acque sotterranee per un Sito di Interesse Nazionale
Adriana Damato, Stefano Ghergo, Daniele Parrone, Elisabetta Preziosi 24

Studio per la definizione della compatibilità geologica e del valore di fondo naturale per alcuni metalli e metalloidi nel suolo e sottosuolo
Mauro D'Angelantonio, Giovanni Savarese 37

Analisi di materiali lapidei e materiali da costruzione in un caso di danneggiamento di tombe al Cimitero Monumentale del Verano a Roma
Rosa Maria Di Maggio 47

La sostenibilità economica delle bonifiche ambientali passa per una approfondita fase conoscitiva: definizione delle MTD/BAT e progettazione della bonifica in un caso di studio di un sito contaminato da idrocarburi pesanti - Frosinone
Alessio Iacobini, Daniele Baldi, Roberto Mangolin, Olga Tagliaferri 52

Il WEB GIS come strumento avanzato per l'organizzazione, la condivisione e l'elaborazione dei dati ambientali nell'ambito delle caratterizzazioni e bonifiche dei siti contaminati - l'applicazione per il SIN del Bacino del Fiume Sacco (Lazio)
Alessio Iacobini, Daniele Baldi, Stefano Vinci, Wanda D'Ercole, Christian Barrella 61

Valutazione del rischio erionite-offretite nelle rocce vulcaniche del Lazio
Michele Mattioli, Matteo Giordani, Federica Paglietti, Sergio Bellagamba, Sergio Malinconico, Gaetano Cecchetti 66

La procedura di infrazione "Discariche abusive": la situazione della Regione Lazio
Nino Tarantino, Marianna Morabito 77

Risposta al pompaggio di acquiferi vulcanici e portata sostenibile dei pozzi: alcune esperienze nell'alto Lazio
Vincenzo Piscopo, Chiara Sbarbati, Giacomo Marcelli, Matteo Paoletti 83

La siccità e i suoi impatti in centro Italia
Emanuele Romano, Anna Bruna Petrangeli, Nicolas Guyennon 90

La geomatica nel monitoraggio dell'ambiente costiero – Caso applicativo: la costa laziale
Anna Tomei 96

2. RISORSE GEOLOGICHE

Introduzione
a cura di Eugenio Di Loreto 105

Il Monumento Naturale regionale Giardino di Ninfa: tra geologia, natura e storia
Massimo Amodio 107

La tutela delle risorse idriche del Lazio: una proposta metodologica per la delimitazione delle Aree di Salvaguardia delle captazioni idropotabili applicata all'idrostruttura dei Monti Lepini
Giacomo Catalano, Carlo Gazzetti, Carlo Perotto, Manuela Ruisi, Paolo Sarandrea..... 118

Geologia da gustare. I paesaggi geologici e i prodotti enogastronomici del Lazio
Eugenio Di Loreto, Cristiano Fattori 125

Parco Archeo GeoMinerario Allumiere – Monti della Tolfa.
Paesaggi derivati dagli antichi usi delle risorse e dalla complessità ecosistemica
Lucina Giacopini, Diego Mantero 141

Geotermia a bassa entalpia nel Lazio: il tesoro che dorme sotto i nostri piedi e gli errori da non commettere per non sprecarlo
Francesca Lotti, Luigi Lana, Gabriele Bernagozzi 151

Le risorse naturali come elementi critici nello sviluppo di un territorio: l'importanza di un approccio interdisciplinare, il caso del bacino termale di Viterbo
Sergio Madonna, Stefania Nisio, Giuseppe Pagano, Francesco Gentili, Giuseppe Scardozzi, Giuseppe Romagnoli, Anna Gandin 160

La geologia e l'immaginario. Una riflessione itinerante nel territorio del Lazio
Lorenzo Manni 175

Il Catasto dei Geositi del Lazio: un percorso tra tutela e proposte per una lettura interpretativa
Diego Mantero, Cristiano Fattori, Dario Mancinella, Maurizio Testardi 187

Il sottosuolo delle aree carsiche del Lazio, problemi di pericolosità e tutela delle risorse
Maria Piro 193

L'esplorazione geotermica nella regione Lazio tra passato e presente
Monia Procesi 202

Il sistema idrogeologico del Gari-Peccia e l'area idrotermale di Suio-Castelforte: due esempi di risorse idriche sotterranee nel Lazio meridionale
Michele Saroli, Matteo Albano, Matteo Fiorucci, Marco Moro, Marco Petitta, Enrica Zullo 214

Rilevamento geologico e morfologico della Grotta dell'Arco (Bellegra, Lazio) per la valorizzazione scientifica e la salvaguardia ambientale
Claudio Succhiarelli, Maurizio Schina 223

La geologia che forma il paesaggio: l'Atlante di Marinelli del 1922
Alessandra Valentinelli 238

Le risorse minerarie della regione Lazio
Francesco Zarlenga 244

3. RISCHI GEOLOGICI

Introduzione
a cura di Lorenzo Manni 261

I fenomeni di dissesto gravitativo di pendio del territorio di Roma Capitale
Marco Amanti, Claudio Succhiarelli, Gianluca Ferri 263

Rischi ambientali e sicurezza delle infrastrutture e del territorio: il caso dell'area metropolitana di Roma Capitale
Alessio Argentieri, Giovanni Rotella, Massimo Fabiani, Antonio Gizzi,
Fernandea Liggio, Bruna Perniola, Maria Piro, Patrizia Vitali 278

Opportunità e problematiche indotte dalle variazioni ambientali per alcune comunità insediate nel delta del Tevere dalla protostoria all'attuale
Piero Bellotti, Tiberio Bellotti 290

Pericolosità delle emissioni di gas endogeno e dei blowout da pozzi nella Regione Lazio
Maria Luisa Carapezza, Massimo Ranaldi, Luca Tarchini, Franco Barberi 302

Pericolosità sismica dell'area laziale
Sergio Castenetto 320

Roma e i terremoti: geologia e danno osservato
Sergio Castenetto 332

Il rischio geochimico: contaminazione geogenica delle falde acquifere in alcune aree vulcaniche del Lazio settentrionale
Daniele Cinti 345

Rischio sinkhole nella Pianura Pontina
Maria Di Nezza, Michele Di Filippo, Rosanna Orazi 357

Rilievo plano-altimetrico con scanner-laser e rilevamento geologico-geomeccanico di una rete caveale nella colata di Capo di Bove a Roma
Michele Concas, Maurizio Lanzini, Marco Tonelli 366

Le cavità sotterranee presenti nei piccoli centri e nelle città d'arte del Lazio: un patrimonio da esplorare e da valorizzare per mitigare i rischi geologici
Stefania Nisio, Sergio Madonna, Francesco Gentili, Giuseppe Romagnoli,
Giuseppe scardozzi, Livio Ruggiero, Marco Placidi 374

Esperienze di gestione e manutenzione delle opere idrauliche nel tratto urbano del Tevere a Roma. Gli interventi per il Giubileo 2025
Giorgio Pineschi 387

Sfide e strumenti per la gestione sostenibile della risorsa idrica sabatina (Lazio, Italia)
Sara Taviani, Luca Maria Falconi, Alessandro Mecali 400

Interventi di riqualificazione ambientale di ecosistemi costieri sabbiosi
Aleandro Tinelli, Piero Tinelli 414

Protezione del suolo e vegetazione del lazio
Valter Tonelli 420

APPENDICE

Elenco degli articoli riguardanti il territorio della regione Lazio, pubblicati su "Geologia dell'Ambiente" e nei Supplementi (1993-2024) e nella collana "Monografie di Geologia Ambientale" di Edizioni SIGEA
a cura di Maria Luisa Felici 435

Il sistema idrogeologico del Gari-Peccia e l'area idrotermale di Suio-Castelforte: due esempi di risorse idriche sotterranee nel Lazio meridionale

The Gari-Peccia hydrogeological system and the Suio-Castelforte hydrothermal area: two examples of groundwater resources in southern Lazio

Michele Saroli[1,2], Matteo Albano[2], Matteo Fiorucci[1], Marco Moro[2], Marco Petitta[3], Enrica Zullo[1]

[1]Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica, Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale, Cassino (FR)
[2]Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma
[3]Dipartimento di Scienze della Terra, Sapienza Università di Roma

E-mail: michele.saroli@unicas.it

Parole chiave: Idrostrutture, sistema idrotermale, sorgenti del Gari-Peccia, Suio Terme
Key words: Hydrostructures, Hydrothermal system, Gari-Peccia springs, Suio thermal area

INTRODUZIONE

Il sistema idrogeologico delle sorgenti del Gari-Peccia e l'area idrotermale di Suio-Castelforte sono due tra i principali esempi di risorse idriche sotterranee del Lazio meridionale, la cui conoscenza è fondamentale per la gestione della risorsa stessa e del territorio. Essi rappresentano due acquiferi carsici alimentati da grandi idrostrutture, i cui limiti di permeabilità sono rappresentati da contatti stratigrafici e tettonici caratteristici della serie laziale-abruzzese e dell'evoluzione tettonica legata alla strutturazione di catena dal Miocene superiore.

L'assetto geologico ed idrogeologico regionale dell'area (Fig. 1) dove ricadono i due sistemi acquiferi presenta diverse idrostrutture, inquadrabili come bacini carsici di natura carbonatica e carbonatico-dolomitica, ospitanti ingenti risorse idriche sotterranee che possono essere considerate come strategiche (Ford e Williams 2007; Fiorillo *et alii*, 2014). L'area è caratterizzata da numerose sorgenti (Celico 1983; Boni *et alii*, 1986) che garantiscono un costante approvvigionamento idrico alle principali aree di pianura ed urbane localizzate al margine delle strutture carbonatiche. In particolare, nel Lazio meridionale (area compresa nel riquadro rosso, in Fig. 1) la piana di Cassino rappresenta uno dei più importanti punti di confluenza dei flussi di acque sotterranee proveniente dall'idrostruttura dei Simbruini-Ernici-M. Cairo-M. Cassino con portate che variano tra i 18 ed i 23 m^3/s (Boni *et alii*, 1986; Capelli *et alii*, 2012). Tali risorse idriche sotterranee sono state ampiamente utilizzate fin dall'antichità ed attualmente sono captate ad uso idropotabile da Acqua Campania S.p.A. con un'opera di presa superficiale a valle delle Terme Varroniane. Grazie agli ulteriori recapiti, compresi quello delle sorgenti del Peccia, captate nel campo pozzi Peccia (tra San Pietro e Presenzano), e della galleria drenante di San Bartolomeo (a Venafro), che capta nell'idrostruttura dei M. di Venafro, la portata complessiva dell'acquedotto raggiunge un valore variabile tra i 7 m^3/s ed i 9 m^3/s, necessaria a contribuire in quantità determinante all'approvvigionamento idropotabile della città di Napoli e delle province di Napoli e Caserta.

Sempre nel Lazio meridionale, il bacino idrotermale di Suio-Castelforte (area compresa nel riquadro bianco, in Fig. 1) è caratterizzato dalla presenza di sorgenti idrotermali. Tali acque, con temperature che possono raggiungere i 55 °C, vengono a giorno da numerose sorgenti alimentate dal massiccio carbonatico dei Monti Aurunci orientali, il cui margine sudorientale è posto a diretto contatto con le unità vulcaniche di Roccamonfina. Le proprietà terapeutiche e termali di tali acque sono largamente sfruttate per le attività del parco termale delle Terme di Suio con circa dieci diversi stabilimenti, attualmente non tutti in esercizio. Tale area è stata frequentata sin da epoca preromana, dove prendeva il nome di *Aquae Vescinae*, ed è citata da illustri autori quali Lucano e Plinio. Durante l'età romana le Terme di Suio raggiunsero la maggiore notorietà in epoca imperiale per poi decadere con la fine dell'Impero Romano. Sono state poi recuperate solamente nei primi anni Cinquanta del Novecento come area termale di interesse regionale. In prospettiva, date le caratteristiche chimico-fisiche e termiche delle acque sorgive, l'area idrotermale di Suio-Castelforte ben si presta anche ad essere impiegata in modo diretto ed indiretto come risorsa geotermica per la produzione di energia elettrica ad uso domestico ed agroalimentare e come potenziale fonte per l'estrazione del Litio e del Magnesio.

IL SISTEMA IDROGEOLOGICO DEL GARI-PECCIA

La piana di Cassino (Fig. 2) è un bacino intramontano dell'Appennino centrale con forma circa trapezoidale, prosecuzione verso Sud Est della Valle Latina. Le dolomie mesozoiche costituiscono la base della sequenza stratigra-

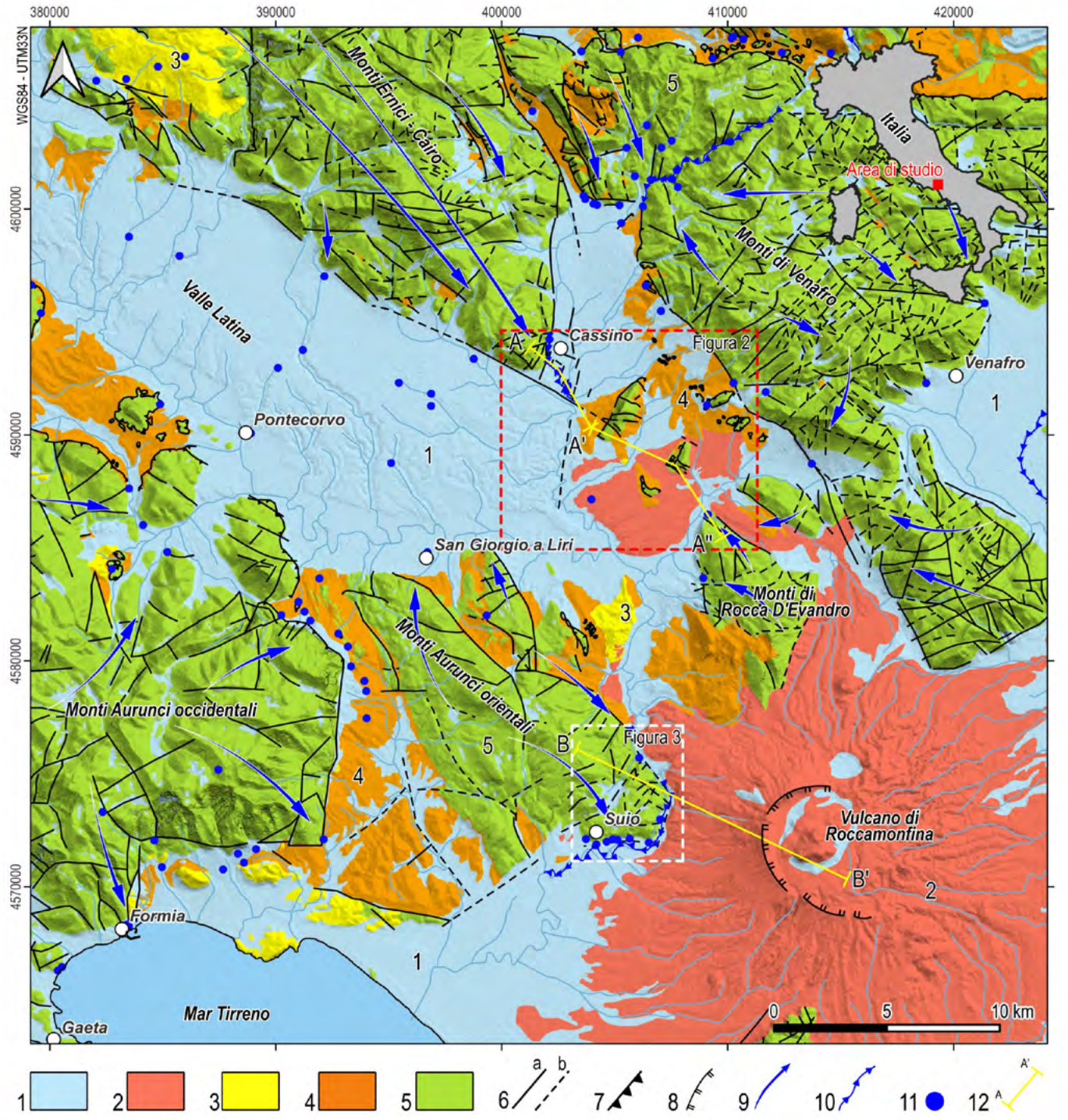


FIGURA 1: Schema idrogeologico e strutturale del Lazio centro-meridionale. Legenda: 1) Depositi alluvionali e lacustri (Olocene-Pleistocene); 2) Depositi vulcanici di Roccamonfina (Pleistocene medio-superiore); 3) Sequenza sabbiosa-conglomeratica (Pliocene inferiore–Messiniano); 4) Sequenza argillosa-arenacea con argille con unità Sicilidi (Messiniano-superiore Tortoniano); 5) Sequenze carbonatiche (Miocene inferiore–Triassico superiore); 6) Faglie normali o trascorrenti (a: certe; b: presunte); 7) Faglie inverse; 8) Orlo della caldera del vulcano di Roccamonfina; 9) Direttrici di flusso delle acque sotterranee; 10) Sorgenti lineari; 11) Sorgenti puntuali; 12) Tracce delle sezioni idrogeologiche in Figura 2 e Figura 3.

fica carbonatica, spessa circa 2000 m (Accordi e Carbone, 1988), seguite dai calcari mesozoici e cenozoici. Al di sopra, i livelli di arenarie e argille tortoniane rappresentano i depositi di paleo avanfossa della catena appenninica con al tetto argille scagliose e varicolori attribuibili alle unità Sicilidi, con uno spessore totale di circa 800 m (Accordi *et alii*, 1967). Seguono depositi conglomeratici di smantellamento di catena attribuibili ad un generico Messiniano lago mare-Pliocene inferiore (Cosentino *et alii*, 2010) ricoperti da depositi quaternari continentali di riempimento (Devoto, 1965). La distribuzione spaziale della sequenza stratigrafica è fortemente controllata dalla tettonica. A partire dal Messiniano, i depositi carbonatici del Mesozoico e del Cenozoico sono stati convolti dalla tettonica compressiva a cui segue la grande fase tettonica distensiva plio-pleistocenica (Centamore *et alii*, 2007). In particolare, l'assetto tettonico dell'area è fortemente condizionato dalla linea Val Roveto-Atina-Caserta (Parotto e Praturlon, 1976; Cavinato e Sirna, 1988). La tettonica distensiva ha profondamente disarticolato le sequenze carbonatiche me-

sozoiche e cenozoiche mediante faglie normali con andamento NW-SE e NE-SW, creando una geometria prevalentemente ad *horst* e *graben*. La morfologia pianeggiante della conca di Cassino è interrotta da due strutture carbonatiche note come Monte Trocchio e Monte Porchio, costituite da calcari mesozoici e cenozoici e delimitate su tre lati da faglie normali. Inoltre, dalla pianura alluvionale affiorano numerose strutture carbonatiche minori ascrivibili a *klippen*. Dal punto di vista idrogeologico la sequenza può essere schematizzata essenzialmente in quattro unità. L'unità dolomitica e carbonatico-dolomitica che ospita l'acquifero a falda libera con elevata permeabilità per fratturazione. L'unità argillosa-arenacea con il complesso sicilide che può essere considerato come *aquiclude*, a cui seguono i conglomerati a permeabilità variabile. La successione è chiusa verso l'alto dall'unità quaternaria costituita da limi, argille e limi argillosi con intercalazioni sabbiose e ghiaiose che costituiscono l'acquifero multistrato della piana di Cassino, con permeabilità variabile ma che nel complesso può essere considerato come un *aquitardo*. Appare quindi evidente l'importanza dell'unità idrogeologica carbonatica e la sua caratterizzazione spaziale.

Nel tempo, si sono succedute diverse schematizzazioni e modellazioni concettuali dell'assetto geologico ed idrogeologico allo scopo di definirne l'area di alimentazione. Ad oggi queste sono sintetizzate nel modello concettuale proposto da Saroli *et alii* (2019a) che evidenzia come l'assetto geologico sia fortemente condizionante del sistema di circolazione tra il Gari ed il Peccia. I primi studi sulla zona riguardarono l'assetto strutturale e stratigrafico (Franchi 1924; Novarese 1926; Beneo, 1942) per lo studio dello sfruttamento di risorse minerali superficiali e profonde. Zalaffi (1964) fornì il primo lavoro geologico dettagliato della piana di Cassino, descrivendo una serie di piccole strutture carbonatiche mesozoiche, Monte Trocchio e Monte Porchio, ritenute delle monoclinali rialzate da faglie dirette, collegate alla struttura di Monte Cairo-Monte Cassino e delimitate da depositi continentali quaternari descritti da Devoto (1965). Accordi (1966) propose per la Valle Latina e per la piana di Cassino un modello a pieghe e sovrascorrimenti. Negli anni Settanta del secolo scorso, lo sfruttamento delle risorse acquifere sotterranee acuì tale problema ed il diverso assetto strutturale della piana di Cassino aprì nuovi scenari sulle possibili alimentazioni dei sistemi sorgentizi del Gari e del Peccia (Monte Camino in Fig. 2). Assumendo valido il modello di Zalaffi (1964), Boni e Bono (1974) definirono uno schema di circolazione ipotizzando un flusso di acque sotterranee da M. Cairo-M. Cassino fino alle sorgenti del Gari e attraverso le monoclinali di Monte Trocchio e Monte Porchio fino ai Monti di Rocca d'Evandro, alimentando le sorgenti del Peccia (Fig. 2a). Al contrario, Celico e Stanganelli (1976) e Celico (1978; 1979; 1983) sulla base di una diffusa campagna di indagini geomeccaniche e geofisiche, combinate con prove idrogeologiche, considerarono Monte Trocchio e Monte Porchio dei *klippen* appartenenti a più ampi sovrascorrimenti a carattere regionale. Venne meno pertanto l'ipotesi di un flusso di acque sotterranee attraverso la piana di Cassino che dal Gari alimentasse anche le sorgenti del Peccia. Alcuni anni dopo, sulla base di nuove prove idrogeologiche e della valutazione dei bilanci delle acque sotterranee dell'Appennino centrale, Boni *et alii* (1986) considerarono il sistema Gari-Peccia in continuità idrogeologica. Tuttavia, questo dibattito rimase irrisolto in mancanza di un modello concettuale geologico e idrogeologico verificato. Nuovi lavori (Accordi e Carbone,1988; Cavinato e Sirna,1988; Corda e Brandano, 2003) hanno aggiunto dati sulla paleogeografia e distribuzione dei depositi carbonatici miocenici nella piana di Cassino aprendo nuovi scenari sulla tettonica dell'area. Bisognerà arrivare a Saroli *et alii* (2014; 2019a) e a Lancia *et alii* (2018) per un'approfondita analisi che riconsideri l'assetto geologico del bacino intermontano di Cassino ed evidenzi come le condizioni di flusso non siano idonee a garantirne la continuità idrogeologica tra le sorgenti del Gari e del Peccia.

In particolare, i dati raccolti da Saroli *et alii* (2019a) hanno integrato il modello concettuale geologico e idrogeologico preesistente, consentendo la ricostruzione dell'evoluzione geologica della piana di Cassino e del suo assetto idrogeologico con la definizione del flusso delle acque sotterranee nell'intera area. In base a questo lavoro di sintesi si evidenzia come il sistema Gari-Peccia non sia alimentato da un'unica idrostruttura carbonatica e come i due gruppi sorgentizi non siano in continuità, ma alimentati da due idrostrutture separate. Al fine di evidenziare il nuovo assetto è stata, quindi, realizzata una nuova sezione geologica e idrogeologica (Fig. 2b) tra le sorgenti del Gari e quelle del Peccia per rivedere il modello concettuale idrogeologico della piana di Cassino utilizzando i dati di letteratura e nuovi dati raccolti. In accordo con Boni e Bono (1974), Celico (1983) e Boni *et alii* (1986), le sorgenti del Gari rappresentano il recapito finale del flusso idrico sotterraneo proveniente dall'idrostruttura dei Monti Simbruini-Monti Ernici-Monte Cairo-Monte Cassino. Seguendo l'assetto idrogeologico, le sorgenti principali si impostano a quote diverse al contatto tra il calcare e il complesso quaternario di riempimento della piana. Le sorgenti più elevate si trovano al limite sud-orientale del Monte Cairo (sorgenti urbane di Cassino in Figg. 2c, 2d) ad una quota variabile tra 34 e 41 m s.l.m. Il flusso delle acque sotterranee dall'idrostruttura carbonatica satura l'acquifero multi-stratigrafico quaternario grazie alla continuità laterale della sequenza stratigrafica e riemerge lungo il limite delle strutture ad *horst* presenti nella piana con il gruppo di sorgenti delle Terme Varroniane in Fig. 2e, ad una quota di 32–33 m s.l.m., e il gruppo di sorgenti di Borgo Mastronardi (a quote tra i 30–31 m s.l.m.). Tra Cervaro e San Vittore del Lazio, le piccole strutture carbonatiche sono chiaramente isolate idrogeologicamente; si sovrappongono ad argille ed arenarie tortoniane e alle unità Sicilidi dando origine a piccole sorgenti alcune di natura effimera. La quota di contatto tra i calcari mesozoici e le argille e arenarie tortoniane è superiore al carico idraulico rilevato; di conseguenza, le acque sotterranee confluiscono direttamente nell'orizzonte quaternario. I Monti Trocchio e Porchio (Fig. 2a) sono considerati dei *klippen* sovrapposti a brecce e argille bituminose

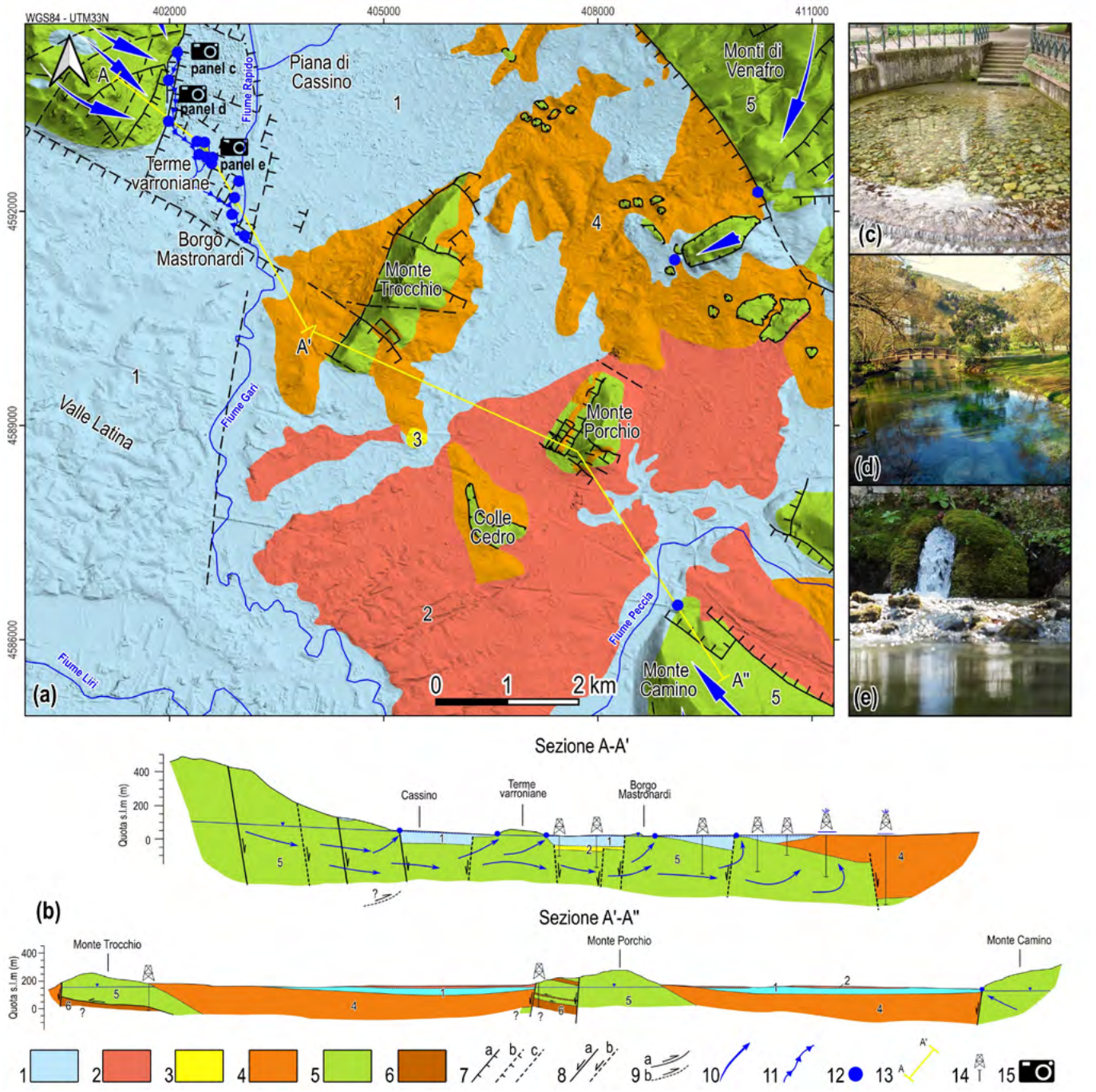


FIGURA 2: a) Schema idrogeologico e strutturale della piana di Cassino. b) Sezioni idrogeologiche dalle sorgenti del Gari alle sorgenti del Peccia. c), d), e) Immagini delle sorgenti del Gari. Legenda: 1) Depositi alluvionali e lacustri (Olocene-Pleistocene); 2) Depositi vulcanici del Roccamonfina (Pleistocene medio-superiore); 3) Sequenza sabbiosa-conglomeratica (Pliocene inferiore–Messiniano); 4) sequenza argillosa-arenacea con unità Sicilidi (Messiniano-superiore Tortoniano); 5) Sequenze carbonatiche (Miocene inferiore–Lias superiore); 6) Brecce e calcari bituminosi (Eocene); 7) Faglie normali o trascorrenti (a: certe; b: presunte c: complesse); 8) Faglie normali (pannello b – a:certe; b: presunte); 9) Faglie inverse (pannello b – a:certe; b: presunte); 10) Direttrici di flusso delle acque sotterranee; 11) Sorgenti lineari; 12) Sorgenti puntuali; 13) Tracce delle sezioni idrogeologiche; 14) Pozzi o sondaggi esplorativi; 15) posizione delle immagini nei pannelli c, d, e.

dell'Eocene, limitando il flusso delle acque sotterranee al massimo alla quota di questo contatto ed impedendo pertanto il deflusso del Gari verso il Peccia. I rilievi geologici, le analisi dei sondaggi, la distribuzione della piezometrica e i dati isotopici ambientali supportano l'isolamento idrogeologico dei Monti Trocchio e Porchio, in accordo con quanto già proposto da Celico (1978; 1983). I dati raccolti, inoltre, non evidenziano la presenza di arenarie e argille tortoniane in profondità, in accordo con Boni *et alii* (1986). Allo stato attuale delle conoscenze non è da escludere un raddoppio della sequenza carbonatica ed una comunicazione idrogeologica profonda tra le sorgenti Gari e Peccia o in alternativa una continuità tra M. Cassino, M. Trocchio e M. Porchio con una barriera idrogeologica per sovrascorrimento al limite Sud Est di M. Porchio. In tal modo verrebbe comunque interrotta la continuità idrogeologica tra il Gari ed il Peccia. Tuttavia, un modello numerico proposto da Lancia *et alii* (2018), calibrato per supportare una comunicazione idrica sotterranea tra le sorgenti Gari e Peccia, non soddisfa l'equilibrio quantitativo suggerito da Boni *et alii*

(1986). I carichi idraulici non sono sufficienti a garantire un flusso idrico sotterraneo significativo dalle sorgenti del Gari verso le sorgenti del Peccia che avrebbero, pertanto, due bacini idrogeologici di alimentazione indipendenti. L'idrostruttura dei Monti Simbruini-Ernici-Cairo-M. Cassino alimenta le sorgenti del Gari, mentre le sorgenti del Peccia rappresentano il principale punto di recapito dell'idrostruttura dei Monti di Venafro.

L'AREA IDROTERMALE DI SUIO-CASTELFORTE

Il bacino idrotermale di Suio è situato nella parte meridionale della regione Lazio (*Fig.* 3), nell'Italia centro-meridionale, tra i Monti Aurunci orientali e l'edificio vulcanico di Roccamonfina.

Al suo bordo sud-orientale, il complesso carbonatico dei Monti Aurunci orientali, appartenente alla serie di piattaforma carbonatica laziale-abruzzese, è interessato da tre faglie dirette che ne delimitano l'estensione al di sotto della valle del Garigliano e del vulcano di Roccamonfina. Muovendosi da Nord verso Sud, la prima faglia ha andamento NW-SE e riutilizza un vecchio sovrascorrimento, la seconda ha andamento NNE-SSW e delimita il *graben* del Garigliano, la terza ha andamento EW e riutilizza un vecchio lineamento a componente complessa (Cosentino *et alii*, 2006; Ippolito *et alii*, 1973). Queste faglie dislocano il tetto del complesso carbonatico a più di 1000 metri sotto il livello del mare (Nunziata e Gerecitano, 2012), ponendolo direttamente a contatto con il complesso torbiditico argilloso arenaceo e con i depositi sabbiosi-conglomeratici e vulcanici (Saroli *et alii*, 2017).

L'idrogeologia dell'area è caratterizzata dalla vasta idrostruttura carsica dei Monti Aurunci orientali (Fig. 3a) costituta da un complesso prevalentemente carbonatico con sorgenti basali a media portata, situate al contatto tra i depositi carbonatici ed i depositi alluvionali del Garigliano nelle zone topograficamente più depresse. Gli altri complessi idrogeologici (complesso torbiditico argilloso arenaceo; depositi sabbiosi-conglomeratici e vulcanici) sono caratterizzati, invece, da bassa permeabilità. Il principale di questi è il complesso idrogeologico vulcanico che ospita falde acquifere locali confinate o freatiche che possono alimentare piccole sorgenti a carattere . Pertanto, il flusso delle acque sotterranee si sviluppa interamente all'interno del complesso carbonatico, mentre gli altri complessi possono essere assunti come impermeabili.

Il primo studio idrogeologico dell'area fu intrapreso da Nicotera e Civita (1969) che tentarono di caratterizzare il bacino dal punto di vista geotermico, descrivendo l'assetto geologico ed idrogeologico dell'area di Suio e della Piana del Garigliano, su cui il sistema idrotermale di Suio si affaccia. Sarà necessario attendere la pubblicazione della prima carta idrogeologica dell'Appennino centrale (Boni *et alii*, 1986) per trovare le prime localizzazioni cartografiche delle sorgenti a carattere termale e minerale. Watts (1987) ricostruì il gradiente geotermico dell'edificio vulcanico di Roccamonfina utilizzando un pozzo geotermico perforato all'interno della caldera che raggiunse una profondità di 886,5 m incontrando acqua alla temperatura di 35,6 °C e confermando la presenza di depositi post-orogenetici sotto la coltre vulcanica. D'Amore *et alii* (1995) evidenziarono delle anomalie geochimiche nelle acque termali ospitate all'interno dell'acquifero carsico dei M. Aurunci orientali; questi Autori stimarono inoltre, che la temperatura media del sistema geotermico al serbatoio fosse compresa tra 125 e 150 °C. Nello stesso anno, Cataldi *et alii* (1995) calcolarono la conducibilità termica media del sottosuolo su scala nazionale, attribuendo all'area di Suio valori compresi tra 40 e 60 mW/m^2. Seguirono poi gli studi di Duchi *et alii* (1995), Brondi *et alii* (1995) e Sappa *et alii* (2012) che, lavorando ad una scala regionale, hanno analizzato le caratteristiche idrogeochimiche e isotopiche delle sorgenti di Suio. Tra questi lavori, i primi due attribuiscono un'origine profonda al bacino idrotermale dell'area di Suio-Roccamonfina mentre lo studio di Sappa *et alii* (2012), mediante l'analisi degli isotopi stabili dell'Idrogeno (H) e dell'Ossigeno (O) dell'area del Lazio meridionale, fornisce un'ampia caratterizzazione idrogeochimica delle acque sotterranee dei Monti Aurunci (Sappa *et alii*, 2014). Nessuna delle opere precedentemente citate discute la possibile origine della fonte di calore, la sua ubicazione, quale sia la zona di ricarica dell'acqua termale e la sorgente dei fluidi caldi profondi. Per colmare questa lacuna, Saroli *et alii* (2017) fornisce un modello concettuale, finalizzato a caratterizzare il sistema idrotermale, costruito sulla base dei risultati disponibili da rilevamenti geologici e idrogeologici e delle informazioni già disponibili in letteratura, quali sondaggi profondi e pozzi esplorativi (Nicotera e Civita, 1969; Boni *et alii* 1986; Cataldi *et alii* 1995; Giordano *et alii* 1995; Della Vedova *et alii* 2001; Bernabini *et alii* 2002; Cosentino *et alii* 2006; Centamore *et alii* 2007; Patacca e Scandone 2007; Cosentino *et alii* 2010; Capelli *et alii* 2012 ; SAMET 1954; AGIP-DIMI 1969; AGIP-SNIA-PETREX 1984; Watts 1987; PETREX 1996).

Tale modello concettuale (Fig. 3b) evidenzia la presenza di un flusso dell'acquifero carbonatico a falda libera principalmente orientato NW-SE in un volume relativamente confinato. La permeabilità del complesso carbonatico è elevata per permeabilità secondaria dovuta ad elevata fratturazione che favorisce lo sviluppo anche di estesi fenomeni carsici. Le caratteristiche idrotermali derivano invece dalle rocce crostali metamorfiche calde che delimitano il fondo del complesso carbonatico (Fig. 3b) tra circa -4000 e -5000 metri s.l.m. (Watts, 1987; Berbanini *et alii*, 2002, Nunziata e Gerecitano, 2012). Queste rocce sono calde a causa del vulcanismo peri-tirrenico, di cui il vulcano Roccamonfina rappresenta l'espressione più superficiale (Savelli, 1988; vedi profilo di temperatura in Fig. 3b). Le rocce metamorfiche generano calore, riscaldando l'enorme falda acquifera ospitata nell'idrostruttura carbonatica adiacente al vulcano ed alimentano circuiti convettivi stazionari di fluidi profondi e ricchi di gas all'interno del serbatoio. Questi ultimi si mescolano con l'acqua più fredda proveniente dall'idrostruttura del complesso carbonatico dei M. Aurunci orientali. Gli effetti idrotermali più evidenti sono, infatti, osservabili al contatto tra il complesso carbonatico

e il vulcano Roccamonfina (Fig. 3a). Qui, sia le sorgenti che i pozzi, mostrano temperature elevate (>50 °C), che tendono progressivamente a ridursi man mano che ci si allontana dall' edificio vulcanico di Roccamonfina in direzione nord ed ovest. Infatti, studi idrogeochimici (Watts, 1987; D'Amore *et alii*, 1995, Cuoco *et alii*, 2010; Saroli *et alii*, 2017) mostrano che ai limiti NE e SW del bacino idrotermale di Suio l'acqua alle sorgenti, pur essendo mineralizzata, è fredda (T ≈ 16°C) con una predominanza di ioni disciolti di origine carsica (Ca^{2+}, HCO_3^-). All'opposto, spostandosi verso il limite SE dell'idrostruttura, la temperatura dell'acqua aumenta fortemente fino a 50 °C e gli ioni di origine non carsica (Na^+, SO_4^{2-}, Cl^- e K^+) prevalgono rispetto a quelli carsici (Saroli *et alii*, 2017). Gli ioni di natura non carsica non possono provenire dagli altri complessi idrogeologici che circondano il bacino dei Monti Aurunci orientali in quanto questi ultimi rappresentano un'idrostruttura ben definita e delimitata. Pertanto, le caratteristiche idrogeochimiche registrate suggeriscono una continua miscelazione tra le acque fredde, bicarbonato calciche, con fluidi caldi di origine profonda (Saroli *et alii*, 2017) ed acque termali cloruro-sodiche-solfatiche. In particolare, i fluidi caldi lisciviano le rocce carbonatiche carsificate e si arricchiscono in gas diluiti (principalmente CO_2 e subordinatamente H_2S). Il gas diluito in aumento si decomprime gradualmente e di conseguenza degassa, producendo fumarole, acqua gorgogliante dalle sorgenti termali e l'apparente comportamento artesiano dei pozzi d'acqua, come del resto osservato dal modello numerico proposto da Saroli *et alii* (2017). La temperatura media del serbatoio carbonatico varia tra i 140 ed i 170°C secondo le stime geotermometriche (D'Amore *et alii*, 1995; Saroli *et alii*, 2017).

Nel dettaglio il contatto tettonico laterale verso NE tra l'acquifero carsico regionale del complesso carbonatico dei M. Aurunci orientali con i complessi meno permeabili genera un effetto barriera con la formazione di diverse sorgenti. Partendo da NW, la prima sorgente che si incontra è quella denominata Salomone (Fig. 3c) fredda e fortemente mineralizzata. Diverse centinaia di metri più a SE, le caratteristiche idrogeochimiche delle acque sotterranee variano notevolmente. Le temperature iniziano a salire progressivamente fino ad oltre 30 °C e, contestualmente, si osserva un aumento degli ioni di origine non carsica. Spingendosi ulteriormente a SE l'effetto del termalismo diventa più evidente dando luogo a sorgenti idrotermali (Figg. 3d, 3e) circondate da piccole fumarole (Fig. 3f) (Duchi *et alii*, 1995). Dai pozzi per acqua, posti all'intersezione tra i due elementi tettonici NW-SE e NNE-SSW, è ancora evidente un progressivo aumento della temperatura e della salinità delle acque. Perforati all'interno del complesso carbonatico, tali pozzi non hanno pompe ed il flusso intermittente è causato della risalita di quantità notevoli di gas, prevalentemente CO_2 (Fig. 3g). Le caratteristiche idrogeochimiche rimangono pressoché costanti lungo il secondo lineamento tettonico (orientato NNE-SSW), con temperature delle sorgenti superiori ai 30°C e temperature delle acque prelevate da pozzo superiori ai 50°C. A partire dall'intersezione tra il secondo (NNE-SSW) ed il terzo (E-W) lineamento tettonico è visibile una forte diminuzione della temperatura e degli ioni di origine non carsica. Lungo quest'ultimo lineamento (Fig. 3h) le caratteristiche idrogeochimiche delle sorgenti sono simili a quelle della sorgente Salomone. I dati finora presentati delineano l'esistenza di un bacino idrotermale ben sviluppato, dove le temperature più elevate si riscontrano all'intersezione tra due faglie, la NW–SE e NNE–SSW. L'anomalia termica è interrotta lungo la faglia E–W e non raggiunge il settore profondo dell'idrostruttura, come dimostrato dal pozzo Rossillo. Pertanto, l'area calda può essere delineata come una stretta fascia, situata in corrispondenza delle due faglie NW–SE e NNE–SSW.

Il modello concettuale proposto da Saroli *et alii* (2017) è stato validato mediante una sofisticata modellazione numerica proposta in Saroli *et alii* (2019b). Il modello termoidraulico sviluppato ha sostanzialmente confermato le ipotesi del modello concettuale precedentemente descritto, simulando l'innesco di una circolazione a doppio flusso all'interno del complesso carbonatico. A NW della sezione modellata, il gradiente di pressione all'interno del bacino degli Aurunci orientali alimenta il flusso delle acque meteoriche carsiche. A Sud Est, il forte gradiente di temperatura sostiene circuiti convettivi, dove l'acqua aumenta la sua temperatura e si arricchisce di gas e ioni di origine non carsica. Di conseguenza, l'acqua che scorre alle sorgenti o che viene intercettata dai pozzi d'acqua lungo la valle del fiume Garigliano mostra temperature, composizione idrogeochimica e concentrazione di gas che dipendono dal sistema di circolazione profondo. Il processo di diffusione è quindi governato principalmente dai gradienti di pressione e temperatura e in misura minore dalla presenza di gas disciolti. Quest'ultima, tuttavia, spiega l'apparente comportamento artesiano dei pozzi d'acqua situati al limite SE dell'idrostruttura orientale degli Aurunci che è causato dal degassamento progressivo (*Fig.* 3g) del serbatoio geotermico. La modellazione numerica ha anche messo in luce che il processo di diffusione avviene interamente nel complesso carbonatico, la cui permeabilità governa la pressione, la velocità e la convezione termica del fluido. Inoltre, la permeabilità equivalente anisotropa del complesso carbonatico gioca un ruolo fondamentale nel controllo della circolazione dei fluidi, della distribuzione della temperatura e del trasporto dei gas diluiti nei pozzi e nelle sorgenti di Suio.

Mettendo in luce, quindi, i punti salienti emersi sia dal modello geologico ed idrogeologico concettuale (Saroli *et alii*, 2017) che dalla modellazione numerica (Saroli *et alii*, 2019b) si può asserire che l'attività idrotermale presso l'area di Suio è principalmente connessa a: 1) una fonte di calore in profondità, legata al vulcanismo peri-Tirrenico, responsabile del forte gradiente termico; 2) la mutua interazione tra la circolazione a doppio flusso all'interno del complesso carbonatico, uno sostenuto dal gradiente idraulico interno ai Monti Aurunci orientali e l'altro alimentato da sistema convettivo profondo; 3) la permeabilità anisotropa correlata al pattern di fratture rilevato nel complesso carbonatico, che regola il trasferimento di calore, la diffusione dei fluidi e il trasporto del gas diluito.

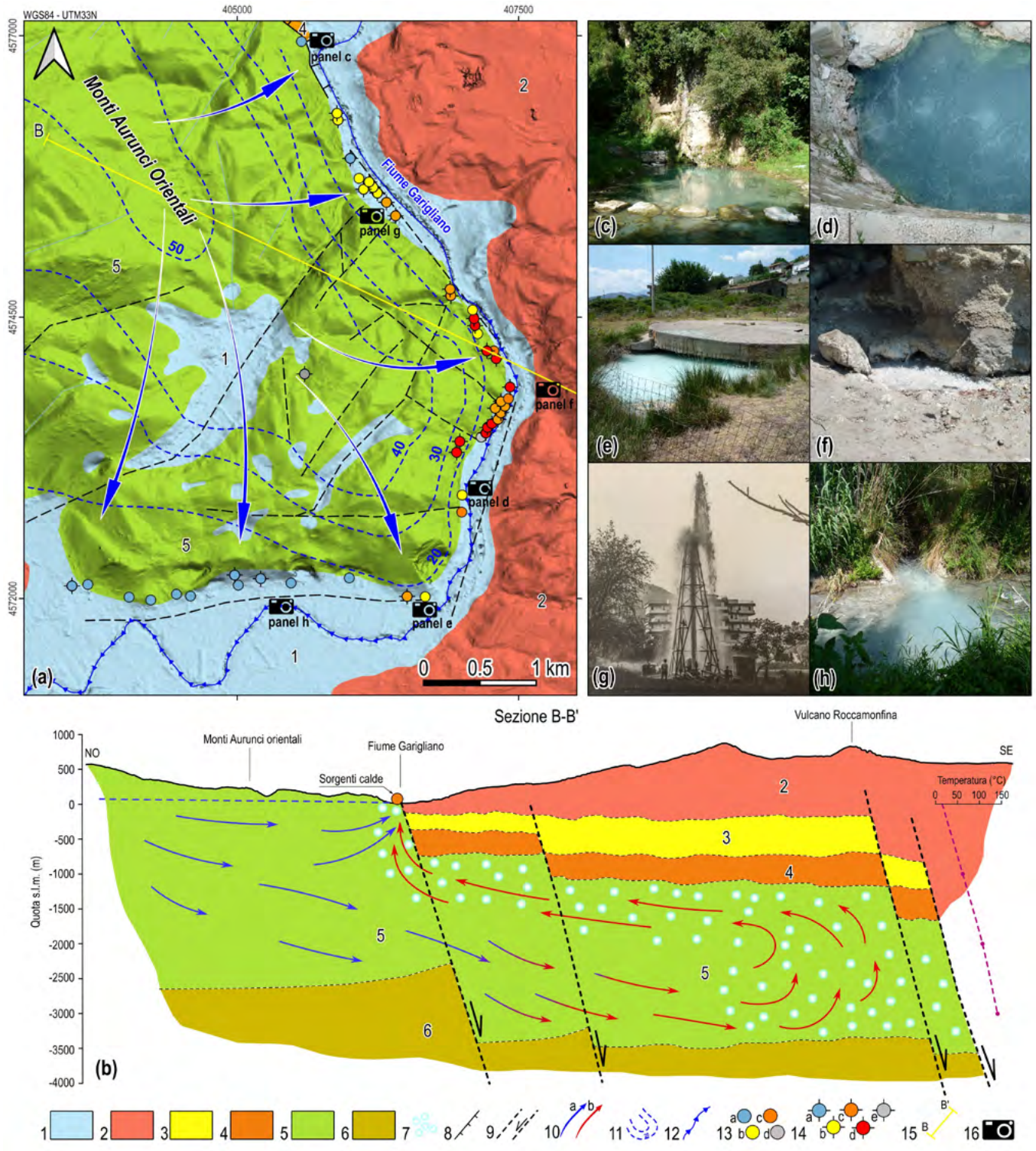


Figura 3: a) Schema idrogeologico e strutturale della zona termale di Suio-Castelforte. b) Sezione idrogeologica concettuale, con l'indicazione a destra della variazione della temperatura con la profondità. La traccia della sezione è riportata in Figura 1 e nel pannello a in questa figura. Da c) ad h) Immagini delle sorgenti e pozzi idrotermali. Legenda: 1) Depositi alluvionali e marini (Olocene-Pleistocene); 2) Depositi vulcanici del Roccamonfina (Pleistocene medio-superiore); 3) Sequenza sabbiosa-conglomeratica (Pliocene inferiore–Messiniano); 4) Argille con gessi e sequenze argilloso-arenacea con argille alloctone (Messiniano superiore- Tortoniano); 5) Sequenze carbonatiche (Miocene inferiore–Triassico); 6) Rocce metamorfiche; 7) Gas disciolto in acqua; 8) Faglie normali o trascorrenti (a: certe; b: presunte); 9) Faglie normali presunte (pannello b); 10) Direttrici di flusso delle acque sotterranee (a: acque fredde; b: acque calde); 11) Isopieze dell'acquifero carbonatico; 12) Sorgenti lineari; 13) Sorgenti puntuali con T < 20 °C (a), 20 ≤ T ≤ 35 °C (b), T > 35 °C (c); T ignota (d); 14) Pozzi con T < 20 °C (a), 20 ≤ T < 35 °C (b), 35 ≤ T ≤ 50 °C (b), T > 50 °C (d) , T ignota (e); 15) Traccia della sezione idrogeologica; 16) Posizione delle immagini nei pannelli da c, ad h.

BIBLIOGRAFIA

Accordi B. (1966). *La componente traslativa nella tettonica dell'Appennino laziale-abruzzese*. Mem. Soc. Geol. Ital., 5, 355-406.

Accordi B., Angelucci A., Sina G. (1967). Note illustrative della carta geologica d'Italia FF. Frosinone 159 e Cassino 160. Nuova Tecnica Grafica, Rome, 77 pp.

Accordi G., Carbone F. (1988). *Sequenze carbonatiche meso-cenozoiche. Note illustrative della Carta delle litofacies del Lazio-Abruzzo ed aree limitrofe*. CNR, Quad. de La Ricerca Scientifica, 114, 11-92.

AGIP-DIMI (1969). Stratigraphic Log of Mondragone 1 Well.

AGIP-SNIA-PETREX (1984). Stratigraphic LOF of MARA1 well.

Beneo E. (1942). *Filezone strutturali e le possibilità petrolifere della Valle Latina (Lazio)*. Boll. R. Uff. Geol. Ital., 67(5).

Bernabini M., Di Bucci D., Orlando L., Parotto M., Tiberti M.M., Tozzi M. (2002). *Nuovi vincoli gravimetrici 3D in Italia centro-meridionale per un modello della crosta profonda*. Mem. Soc. Geol. It, 57(1), 335-342.

Boni C., Bono P. (1974). *Segnalazione di un gruppo di grandi sorgenti nel bacino del Fiume Peccia, affluente del Garigliano*. Geol. Rom., 12, 227-242.

Boni C.F., Bono P., Capelli G. (1986). *Schema Idrogeologico dell'Italia Centrale. Carta Idrogeologica, C. Idrologica, C. dei Bilanci Idrogeologici, Scala 1: 500000*. Mem. Geol. Soc. Ital., 35(9911012), 32.

Brondi M., Campanile R., Dall'Aglio M., Orlandi C., Tersigni S., Venanzi G. (1995). Acque naturali. In: ENEA (ed) Lazio Meridionale sintesi delle ricerche geologiche multidisciplinari. ENEA, Rome, pp 163–176

Capelli G., Mastrorillo L., Mazza R., Petitta M., Baldoni T., Banzato F., Cascone D., Di Salvo C., La Vigna F., Taviani S., Teoli P. (2012). Carta idrogeologica del Territorio della Regione Lazio, scala 1:100.000 (4 fogli), Regione Lazio, S.EL.CA, Florence, Italy

Cataldi R., Mongelli F., Squarci, P., Taffi L., Zito G., Calore C. (1995). Geothermal ranking of Italian territory. *Geothermics*, 24(1), 115-129.

Cavinato G.P., Sirna M. (1988). *Elementi di tettonica transpressiva lungo la linea di Atina (Lazio meridionale)*. Mem. Soc. Geol. It., 41, 1179-1190.

Celico P. (1978). *Schema idrogeologico dell'Appennino carbonatico centro-meridionale*. Memorie e Note Istituto di Geologia Applicata, Napoli, 14(50), 1-43.

Celico P. (1979). *Considerazioni sull'idrogeologia di alcune zone dell'Italia centro-meridionale alla luce dei risultati di recenti indagini geognostiche*. Memorie e Note Istituto Geologia Applicata, 15, 1-43.

Celico P. (1983). *Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale: Marche e Lazio meridionali, Abruzzo, Molise e Campania*, Cassa per il Mezzogiorno.

Celico P., Stanganelli V. (1976). *Sulla struttura idrogeologica dei Monti di Venafro (Italia Meridionale)*. Boll. Soc. Nat., 85, 153-178.

Centamore E., Di Manna P., Rossi D. (2007). *Kinematic evolution of the Volsci Range: a new overview*. Boll. Soc. Geol. Ital., 126(2), 159.

Corda L., Brandano M. (2003). *Aphotic zone carbonate production on a Miocene ramp, Central Apennines, Italy*. Sediment. Geol., 161(1-2), 55-70.

Cosentino D., Cipollari P., Marsili P., Scrocca D. (2010). *Geology of the central Apennines: a regional review. J. Virtual Explor.*, 36(11), 1-37.

Cosentino D., Federici I., Cipollari P., Gliozzi E. (2006). *Environments and tectonic instability in central Italy (Garigliano Basin) during the late Messinian Lago–Mare episode: New data from the onshore Mondragone 1 well*. Sediment. Geol., 188, 297-317.

Cuoco E., Verrengia G., De Francesco S., Tedesco D. (2010). *Hydrogeochemistry of Roccamonfina volcano (southern Italy)*. Environ. Earth Sci., 61, 525-538.

D'Amore F., Didomenicoantonio A., Lombardi S. (1995). *Considerazioni geochimiche e geotermometriche sul sistema idrotermale di Suio (Campania)*. Geol. Rom., 31, 319-328.

Della Vedova B.D., Bellani S., Pellis G., Squarci P. (2001). *Deep temperatures and surface heat flow distribution*. In Anatomy of an orogen: The Apennines and adjacent Mediterranean basins (pp. 65-76). Dordrecht: Springer Netherlands.

Devoto G. (1965). *Lacustrine Pleistocene in the Lower Liri Valley (SW Latium)*. Geol. Rom., 4, 291-368.

Duchi V., Minissale A., Vaselli O., Ancillotti M. (1995). Hydrogeochemistry of the Campania region in southern Italy. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 67(4), 313-328.

Fiorillo F., Petitta M., Preziosi E., Rusi S., Esposito L., Tallini M. (2015). *Long-term trend and fluctuations of karst spring discharge in a Mediterranean area (central-southern Italy)*. Environ. Earth Sci., 74, 153-172.

Ford D., Williams P. (2007). Karst Hydrogeology and Geomorphology, Wiley, Chichester, UK.

Franchi S. (1924). *Il grande slittamento delle masse calcaree secondarie dei monti ausoni e lepini sui terreni miocenici della Valle del Liri e della Valle Latina*. Rend. R. Acc. Naz. Lincei, 33, 60-66.

Giordano G., Naso G., Trigari A. (1995). *Evoluzione tettonica di un settore particolare del margine tirrenico: l'area al confine tra Lazio e Campania. Prime considerazioni*. Stud. Geol. Camerti, 2, 269-278.

Ippolito F., Ortolani F., Russo M. (1973). Struttura marginale tirrenica dell'Appennino Campano; reinterpretazioni di dati di antiche ricerche per idrocarburi. *Mem. Soc. Geol. Ital.* 15, 227-250.

Lancia M., Saroli M., Petitta M. (2018). *A double scale methodology to investigate flow in karst fractured media via numerical analysis: the Cassino plain case study (central Apennine, Italy)*. Geofluids, 2018, 1-12.

Naso G., Tallini M. (1993). *Tettonica compressiva e distensiva dei Monti Aurunci occidentali (Appennino centrale): prime considerazioni*. Geol. Rom., 29, 455-462.

Nicotera P., Civita M. (1969). *Idrogeologia della piana del basso Garigliano (Italia Meridionale)*. Mem. Not. Ist. Geol. Appl. Nap., 11, 5-59.

Novarese V. (1926). *La Valle Latina*. Mem. Descr. Cart. Geol. It., 20, 95-124.

Nunziata C., Gerecitano F. (2012). *VS crustal models of the Roccamonfina volcano and relationships with Neapolitan volcanoes (southern Italy)*. Int. J. Earth Sci., 101, 1371-1383.

Parotto M., Praturlon A. (1975). *Geological Summary of the Central Apennines*. In C.N.R., Structural Model of Italy. Quad. Ric. Sci., 90, 257-311.

Patacca E., Scandone P. (2007). *Geology of the southern Apennines*. Boll. Soc. Geol. It., 7, 75-119.

PETREX (1996). *Stratigraphic log of San Giorgio a Liri 1*. AGIP-DIMI, Servizio Geologico del Sottosuolo. Milanese, Milano.

SAMET (1954). *Stratigraphic log of Cellole Aurunci 1 well*. Ufficio Geologico Regione Campania, Naples, Italy.

Sappa G., Barbieri M., Ergul S., Ferranti F. (2012). *Hydrogeological conceptual model of groundwater from carbonate aquifers using environmental isotopes (18 O, 2 H) and chemical tracers: a case study in Southern Latium Region, Central Italy*. J. Water Resour., Prot (IWARP). 4(9)

Sappa G., Ergul S., Ferranti F. (2014). *Water quality assessment of carbonate aquifers in southern Latium region, Central Italy: a case study for irrigation and drinking purposes*. Appl. Water Sci., 4, 115-128.

Saroli M., Albano M., Giovinco G., Casale A., Dell'Isola M., Lancia M., Petitta M. (2019b). *A macroscale hydrogeological numerical model of the suio hydrothermal system (Central Italy)*. Geofluids, 2019.

Saroli M., Lancia M., Albano M., Casale A., Giovinco G., Petitta M., Zarlenga F., Dell'Isola M. (2017). *A hydrogeological conceptual model of the Suio hydrothermal area (central Italy)*. Hydrogeol. J., 25(6), 1811-1832.

Saroli M., Lancia M., Albano M., Modoni G., Moro M., Scarascia Mugnozza G. (2014). *New geological data on the Cassino intermontane basin, central Apennines, Italy*. Rendiconti Lincei, 25, 189-196.

Saroli M., Lancia M., Petitta M. (2019a). *The geology and hydrogeology of the Cassino plain (central Apennines, Italy): redefining the regional groundwater balance*. Hydrogeol. J., 27(5), 1563-1579.

Savelli C. (1988). *Late Oligocene to Recent episodes of magmatism in and around the Tyrrhenian Sea: implications for the processes of opening in a young inter-arc basin of intra-orogenic (Mediterranean) type*. Tectonophysics, 146(1-4), 163-181.

Vedova B.D., Bellani S., Pellis G., Squarci P. (2001). *Deep temperatures and surface heat flow distribution*. In: Anatomy of an orogen: The Apennines and adjacent Mediterranean basins (pp. 65-76). Dordrecht: Springer Netherlands.

Watts M.D. (1987). *Geothermal exploration of Roccamonfina volcano, Italy*. Geothermics, 16(5-6), 517-528.

Zalaffi M. (1964). *Su alcune piccole strutture affioranti nella piana di Cassino*. Mem. Soc. Geol. It., 4, 635-648.

Questa monografia dedicata alla "Geologia Ambientale nella regione Lazio" testimonia il valore delle ricerche condotte negli anni e offre una panoramica aggiornata sui rischi ambientali, le risorse geologiche e le sfide connesse alla gestione del territorio. Gli studi presentati, frutto del contributo di esperti universitari, ricercatori e tecnici delle amministrazioni locali, dimostrano come la conoscenza scientifica possa essere applicata in modo concreto per affrontare le fragili dinamiche che caratterizzano il paesaggio laziale. Attraverso un approccio multidisciplinare e il supporto di moderne tecnologie, questa raccolta di lavori evidenzia il ruolo centrale della Geologia Ambientale nel monitoraggio del territorio e nella promozione di soluzioni sostenibili. Gli sforzi compiuti in ambito accademico e professionale devono tradursi in un dialogo aperto e costruttivo con la comunità e i decisori politici, affinché lo sviluppo economico avvenga nel pieno rispetto delle leggi della natura.

Daniele Baldi. Nato a Roma, laureato con lode in Scienze Geologiche, vanta una lunga esperienza nella progettazione ed esecuzione di caratterizzazioni e bonifiche ambientali per il comparto suolo e acque sotterranee. È socio fondatore dello Studio Associato Earthwork. Fa parte del comitato scientifico della Rivista "Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater" ed è responsabile per la Società Italiana di Geologia Ambientale - APS dell'area tematica "Caratterizzazione e Bonifica Siti Inquinati". Oltre la presente pubblicazione ha curato le monografie allegate alla rivista "Geologia dell'Ambiente" *Rischio amianto in Italia: da minerale pregiato a minaccia per la salute e per l'ambiente* e *Bonifica dei Siti Inquinati*.

Eugenio Di Loreto. Geologo, laureatosi alla Sapienza di Roma. Ha svolto la propria attività lavorativa come funzionario geologo direttivo presso i seguenti Enti: Provincia di Roma; Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale della PCM; Regione Lazio (Ufficio geologico e Sismico). Ha svolto attività di docente attraverso seminari presso il Dipartimento di Scienze Geologiche dell'Università di Roma Tre e dell'Università La Sapienza di Roma. È stato Presidente dell'Ordine dei Geologi del Lazio, e Consigliere dell'Ordine Nazionale dei Geologi. È consigliere della Sezione Lazio della SIGEA e Condirettore della Rivista Geologia dell'Ambiente. Autore e relatore di un centinaio di pubblicazioni di carattere scientifico e divulgativo in convegni e congressi nazionali e seminari internazionali.

Lorenzo Manni. Geologo, laureatosi alla Sapienza di Roma. Dal 1997 ha svolto attività professionale in Italia e all'estero nei campi della geologia applicata, la geomorfologia, la pianificazione territoriale e la progettazione geotecnica. Dal 2014 lavora in Sogin Spa nell'ambito del processo di localizzazione, caratterizzazione e realizzazione del Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi. È attivo nel campo del volontariato, della cooperazione internazionale allo sviluppo e nel supporto tecnico alle Comunità Locali e ai movimenti per la difesa dei beni comuni del territorio; si occupa inoltre di divulgazione scientifica e ha recentemente pubblicato per Momo Edizioni il libro *Roma sotto sotto – Una guida geologica della Capitale*.

9 791280 811066 >