

Società Speleologica Italiana

OPERA IPOGEA

Journal of Speleology in Artificial Cavities

Anno XXVI - 1 / 2024



«L'ERMA» di BRETSCHNEIDER



OPERA IPOGEA
Anno XXVI / Numero 1 / 2024

OPERA IPOGEA

Journal of Speleology in Artificial Cavities
Memorie della Commissione Nazionale Cavità Artificiali

Autorizzazione del Tribunale di Bologna n. 7702 dell'11 ottobre 2006
Rivista Semestrale della Società Speleologica Italiana ETS

Editore «L'ERMA» di BRETSCHEIDER

ISBN brossura: 978-88-913-3256-1 / ISBN pdf: 978-88-913-3257-8 / ISSN: 1970-9692 / CDD 551.44

DOI: 10.48255/1970-9692.XXVI.2024.1 / 1. Speleologia

www.operaipogea.it

Facebook: operaipogea

Rivista dell'Area 10 "Scienze dell'antichità, filologico-letterarie e storico-artistiche"
Classificata dell'Agenzia Nazionale di Valutazione del Sistema Universitario e della Ricerca (ANVUR)
quale rivista scientifica rilevante ai fini dell'Abilitazione Scientifica Nazionale (ASN)

Direttore Responsabile

Stefano Saj / studiosaj@aruba.it

Direttore Editoriale

Massimo Mancini / maxman@unimol.it

Comitato Scientifico

Roberto Bixio / Centro Studi Sotterranei / Genova
Anna Boato / Università degli Studi di Genova / Genova
Elena Calandra / Istituto Centrale per l'Archeologia - MiC / Roma
Vittoria Caloi / Istituto Nazionale di Astrofisica / Roma
Marilena Cozzolino / Università degli Studi del Molise / Campobasso
Carlo Ebanista / Università degli Studi del Molise / Campobasso
Francesco Faccini / Università degli Studi di Genova / Genova
Angelo Ferrari / IMC - Consiglio Nazionale delle Ricerche / Montelibretti (RM)
Carla Galeazzi / Centro Ricerche Sotterranee Egeria / Roma
Ilaria Gnecco / Università degli Studi di Genova / Genova
Paolo Madonia / Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia / Roma
Roberto Maggi / Università degli Studi di Genova / Genova
Massimo Malagugini / Università degli Studi di Genova / Genova
Massimo Mancini / Università degli Studi del Molise / Campobasso
Mariano Martini / Università degli Studi di Genova / Genova
Alessandro Naso / Università degli Studi di Napoli "Federico II" / Napoli
Roberto Nini / Associazione Culturale Subterranea / Narni (TR)
Mario Parise / Università degli Studi di Bari "Aldo Moro" / Bari
Mark Pearce / University of Nottingham / United Kingdom
Stefano Saj / Centro Studi Sotterranei / Genova
Gianluca Soricelli / Università degli Studi del Molise / Campobasso
Marco Vattano / Università degli Studi di Palermo / Palermo
Boaz Zissu / Bar-Ilan University / Ramat-Gan / Israel

Comitato di Redazione

Michele Betti, Roberto Bixio, Sossio Del Prete, Andrea De Pascale, Carla Galeazzi, Carlo Germani, Massimo Mancini, Stefano Saj

Indirizzo della Redazione

c/o Studio Saj / Corso Magenta 29/2, 16125 Genova - Italia

Composizione e impaginazione

«L'ERMA» di BRETSCHEIDER

Anno XXVI / Numero 1 / 2024

Foto di copertina

Monti del Matese / Galleria drenante della Sorgente Majella / Fiume Biferno / Bojano / CB
(foto Nicola Paolantonio)

Foto quarta di copertina

Monti del Matese / Galleria superiore non in esercizio / Ambiente di giunzione con la Finestra S. M. dei Rivoli superiore / Bojano / CB
(foto Nicola Paolantonio)

Immagine delle copertine interne

Grotta del cane presso il Lago di Agnano (NA), 1780 circa. Incisione all'acquaforte tratta da:
Voyage pittoresque à Naples et en Sicile, par Jean-Claude Richard de Saint-Non. Éd. Houdaille, Paris, 1836.

Acquisti e abbonamenti

Anno 2024 <https://www.lerma.it/catalogo/rivista/239>

Arretrati 1999-2023 (salvo disponibilità) biblioteca@socissi.it

Indice

<i>Le gallerie di captazione delle Sorgenti del Fiume Biferno e la galleria di valico nei Monti del Matese (Molise / Campania). Aspetti storici, idrogeologici e strutturali di un'opera di ingegneria idraulica del Novecento.</i>	5
Massimo Mancini, Paolo Di Ludovico, Paolo Gioia, Lorenzo Petracchini, Domenico Barberio	
<i>Un nuovo ipogeo artificiale nel sottosuolo di Napoli. La cava di tufo e la cisterna di Corso Vittorio Emanuele.</i>	39
Rosario Varriale	
<i>Inventory of artificial cavities in the Nevşehir province (Turkey): 2023 update.</i>	53
Ali Yamaç, Bilgin Yazlık, Roberto Bixio, Carla Galeazzi, Mario Parise	
<i>Argentiera di Sant'Anna (Stazzema, Toscana): uno straordinario esempio di attività mineraria rinascimentale.</i>	77
Diego Pieruccioni, Simone Vezzoni, Danilo Magnani, Nadia Ricci, Francesca Braccini	
Recensioni	
<i>Il torrente Seccata e le sue risorse minerarie.</i>	99
Katia Rizzo	
<i>Des monuments sortis de l'ombre. Les souterrains-refuges.</i>	100
Roberto Bixio	

Le gallerie di captazione delle Sorgenti del Fiume Biferno e la galleria di valico nei Monti del Matese (Molise e Campania). Aspetti storici, idrogeologici e strutturali di un'opera di ingegneria idraulica del Novecento

The Biferno river springs catchment tunnels and the tunnel crossing in the Matese Mountains (Molise and Campania). Hydrogeological, structural and historical aspects of a Twentieth-Century hydraulic engineering work

Massimo Mancini¹⁻², Paolo Di Ludovico³, Paolo Gioia², Lorenzo Petracchini⁴, Domenico Barberio⁵

RIASSUNTO

Ideata dai fratelli ingegneri Ernesto e Francesco Ruffolo nel 1915, la rete di gallerie di captazione delle sorgenti del Biferno fu realizzata negli anni '60 del secolo scorso dalla Cassa per il Mezzogiorno per l'alimentazione sussidiaria dell'acquedotto campano. Così come progettata dal Genio Civile di Napoli, la struttura divenne un'opera emblematica ed esemplare, persino come caso studio negli insegnamenti di ingegneria. Ancora oggi in esercizio, le gallerie sono d'importanza strategica per l'approvvigionamento idrico di molti comuni della Campania, del Molise e della Puglia. Oltre agli aspetti idrogeologici del bacino di alimentazione delle sorgenti Majella, Santa Maria dei Rivoli, Pietrecadute e Rio Freddo, se ne descrivono gli aspetti storici, progettuali, ingegneristici, strutturali e di esercizio, unitamente agli schemi idrici di distribuzione. Le soluzioni tecnico-minerarie dell'epoca determinarono per errore, ad una quota superiore a quella della falda, la realizzazione di una grande galleria mai utilizzata che, tuttavia, a distanza di oltre sessanta anni, si presenta ancora in buone condizioni di conservazione; per tali ambienti gli autori propongono diverse utili destinazioni d'uso. Nel contributo che segue, si presenta una sintesi dell'intera ricerca svolta nei diversi archivi e nelle biblioteche ma, soprattutto, sul campo anche attraverso indagini della memoria storica di chi l'ha costruita e di chi vi ha lavorato.

Parole chiave: Sorgenti del Biferno, acquedotti molisano e campano, galleria di valico del Matese, ingegneria idraulica, Cassa per il Mezzogiorno.

ABSTRACT

Designed by engineers Francesco and Ernesto Ruffolo in 1915 and built in the 1960s by public institution Cassa per il Mezzogiorno, the network of catchment tunnels at the Springs of the Biferno initially served to divert water and supply the Campania aqueduct. This remarkable work, still in operation today, is of strategic importance for the water supply of hundreds of thousands of users between Campania and Molise regions. The following contribution examines the catchment area of the water front consisting of the Majella, Santa Maria dei Rivoli, Pietrecadute and Rio Freddo springs as part of the broader physiographic and hydrogeological framework of the Matese Mountains, whose basic springs are widespread and abundant throughout much of its perimeter. "The Matese waters," as defined by many authors who have dealt with the subject, have always been an important resource whose catalyzing effect has determined, since ancient times, the settlement of various populations in its surroundings, not only at the lower altitudes but also in the higher districts. Tangible evidence of this, for example, are the many Roman aqueducts, some of which are still in operation today. As a major project of the Cassa per il Mezzogiorno, carried out also thanks to the intervention of the Genio Civile offices, the network of tunnels is a work that has become emblematic and exemplary, even as a case study in the lessons of Civil Engineering. Its historical, conceptual, engineering, structural and operational aspects are described, along with the water distribution schemes that, from the city of Termoli on the Adriatic side to the island of Ischia in the Tyrrhenian Sea, cross the entire section of southern Italy. The technical-engineering solutions that define its structure, the materials used, and the necessary maintenance measures, make it a work that, as a whole and more than sixty years later, still perfectly performs the task for which it was conceived.

Keywords: Biferno springs, molisan and campanian aqueducts, Matese crossing tunnel, hydraulic engineering, Cassa per il Mezzogiorno.

Autore di riferimento: Massimo Mancini / maxman@unimol.it
¹ Università degli Studi del Molise - Dipartimento Agricoltura, Ambiente e Alimenti - Campobasso
² Associazione Speleologi Molisani - Ferrazzano (CB)

³ Azienda Speciale Regionale Molise Acque - Campobasso
⁴ Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria - Roma
⁵ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Roma

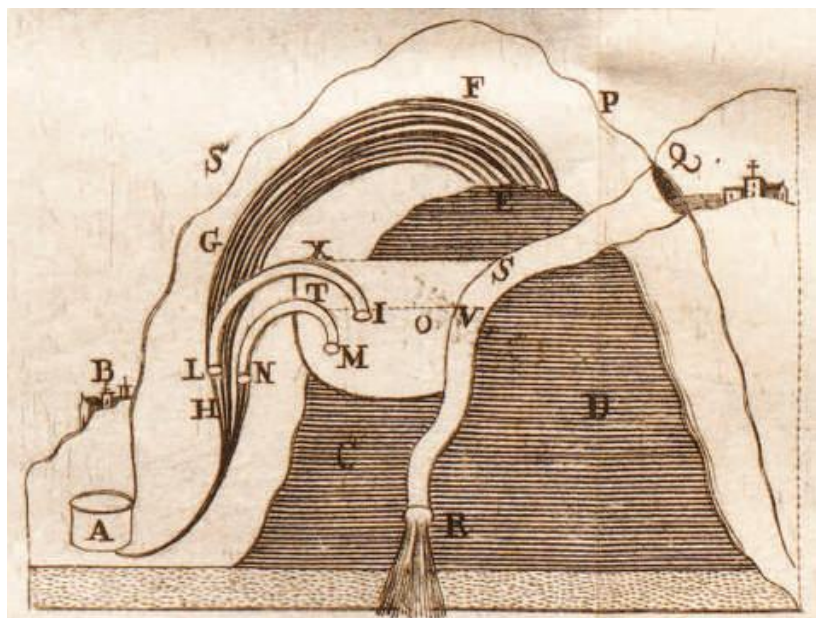


Fig. 1. Disegno di Felice Stocchetti (1705) in cui è rappresentato lo schema idrogeologico del Torrente Sava nei comuni di Gallo Matese e Fontegreca sui Monti del Matese.

Drawing by Felice Stocchetti (1705) showing the hydrogeological scheme of the Torrente Sava in the municipalities of Gallo Matese and Fontegreca in the Matese Mountains.

INTRODUZIONE

Le sorgenti del fiume Biferno affiorano in Molise, sul versante orientale dei Monti del Matese, unità orografica costituita da una struttura geologica di natura carbonatica (dolomie e calcari) la cui fisiografia presenta confini ben definiti dalle circostanti pianure fluviali e dai relativi depositi alluvionali. Nel paesaggio della dorsale appenninica, il Matese appare, pertanto, come una montagna distinta e isolata sia a nord dalla limitrofa Catena delle Mainarde e dai Monti di Venafro, al confine con Abruzzo e Lazio, sia a sud dal gruppo Taburno-Camposauro, al confine con la Campania. I Monti del Matese, costituiti, prevalentemente, da calcari organogeni, fossiliferi ed estremamente carsificati, sono una delle aree carsiche più importanti d'Europa le cui peculiarità naturalistiche, geologiche e paleontologiche ne fanno una delle aree di studio di maggior interesse, non solo per le rilevanti e strategiche risorse idriche. Oltre a diversi contributi, relativamente recenti, che ne hanno descritto nel complesso gli aspetti naturalistici, storici, economico-sociali e, più ampiamente, antropici (Colamonico, 1928; Dainelli, 1925 e 1930; Marrocco, 1940; Gortani, 1961; Langella, 1964; Capparelli, 1970; AA.VV., 1991), il Matese è stato oggetto di notevole attenzione scientifica fin dal XVII secolo. Dallo studio delle rudiste rinvenute a Campochiaro (CB), infatti, ha avuto origine la prima accreditata teoria paleontologica sulla formazione dei fossili (Colonna, 1616; Morello, 1979); così come dallo studio del sistema carsico del torrente Sava, tra i comuni di Gallo e Fontegreca (CE), hanno avuto origine, sebbene

con qualche imprecisione, le prime teorie sul carsismo e l'idrodinamica sotterranea (fig. 1) (Stocchetti, 1705; Mancini, 2017), all'epoca ancora definite come responsabili della "origine delle fontane" (Vallisneri, 1715). Non meno rilevanti lo sono stati anche gli studi sui calcari a ittioliti di Pietraroja (Breislak, 1798; Pilla, 1823; Costa, 1865; Capasso, 2007, per citarne alcuni) nelle cui rocce calcaree, recentemente, è stato invece rinvenuto uno tra i più importanti esemplari di dinosauro tetrapode, lo *Scipionix samniticus*, tra i più studiati al mondo soprattutto per l'eccezionale livello di fossilizzazione raggiunto anche dai tessuti molli (Dal Sasso e Signore, 1998). Altrettanto rilevante e caratterizzante i Monti del Matese è la paleosuperficie della località La Pineta di Isernia nella quale, negli anni '70, è stato individuato un esteso giacimento di fossili del paleolitico, ricondotto successivamente ad un insediamento di *Homo heidelbergensis* (Peretto *et al.*, 2015). Di recente, in agro di Fontegreca, in provincia di Caserta, è stata individuata anche un'antica e rara cava di alabastro (Mancini, 2017) i cui materiali lapidei furono utilizzati dal noto architetto Cosimo Fanzago (Clusone 1591 – Napoli 1678) per la realizzazione di alcuni elementi architettonici della Chiesa del SS. Salvatore di Piedimonte Matese (CE). Non meno considerevole è il notevole patrimonio di biodiversità animale, vegetale e, più ampiamente, ambientale, le cui peculiarità ed i cui endemismi, caratterizzano, per quest'area dell'Appennino, quella zona di transizione biogeografica tra Italia centrale e Italia meridionale nella quale si possono apprezzare oggi tutti gli effetti determinati sull'evoluzione del popolamento zoologico e botanico dall'ultimo massimo glaciale; per i Monti del Matese, ad esempio, è testimoniata la stazione più meridionale d'Italia nella quale sono stati rinvenuti reperti di *Marmota marmota* (Scaravelli *et al.*, 2004). Nel complesso, pertanto, il Matese costituisce un'unità orografica di estrema qualità naturalistico-ambientale le cui caratteristiche geopaleontologiche, soprattutto, ne fanno un'area particolarmente vocata a candidarsi, nell'ambito dell'International Geoscience and Geopark Programme dell'UNESCO, quale geoparco nazionale, come tale, riconosciuto dall'UNESCO (Girault, 2009). Tra tutte le risorse naturali che, in ogni caso, hanno catalizzato l'interesse e l'attenzione dell'uomo fin da epoche remote, tanto da determinarne l'insediamento dalle pianure basali fino ai distretti più elevati, le acque e le sorgenti sono quelle alle quali è stata attribuita da sempre un'importanza strategica; ne sono diffuse testimonianze tutte le opere di captazione, regimazione, accumulo e distribuzione che, fin dai tempi dei primi popoli italici, continuano ad essere realizzate e utilizzate per l'approvvigionamento idrico di nuclei abitati e, più recentemente, anche di aree industriali e zone turistiche. Acquedotti, gallerie drenanti, bottini di presa,



Fig. 2. Acquedotto ipogeo romano di Monteroduni (IS) (foto N. Paolantonio).
Roman hypogean aqueduct at Monteroduni (IS) (ph. N. Paolantonio).

condotte, cisterne, canalizzazioni ed altre opere di ingegneria idraulica, sono numerosissime e presenti in quasi tutti i comuni del Matese, laddove le caratteristiche delle sorgenti lo hanno consentito (ad es. Caiazza, 1997; Battista e Mancini, 1998) (fig. 2).

MATERIALI E METODI

Lo studio delle gallerie di drenaggio e captazione delle sorgenti del Biferno è stato condotto inizialmente attraverso l'analisi ragionata della letteratura tecnico-scientifica, della documentazione progettuale (fig. 3) e della reportistica della Cassa per il Mezzogiorno (Archivio CASMEZ-AGENSUD), quest'ultima, in buona parte, resa disponibile in formato digitale negli Archivi dello Sviluppo Economico e Territoriale (ASET) dell'Archivio Centrale dello Stato del Ministero della Cultura (AA.VV., 1952; 1953; 1955; 1962a; 1962b; 1976). Tutta la letteratura relativa alle prime ipotesi di

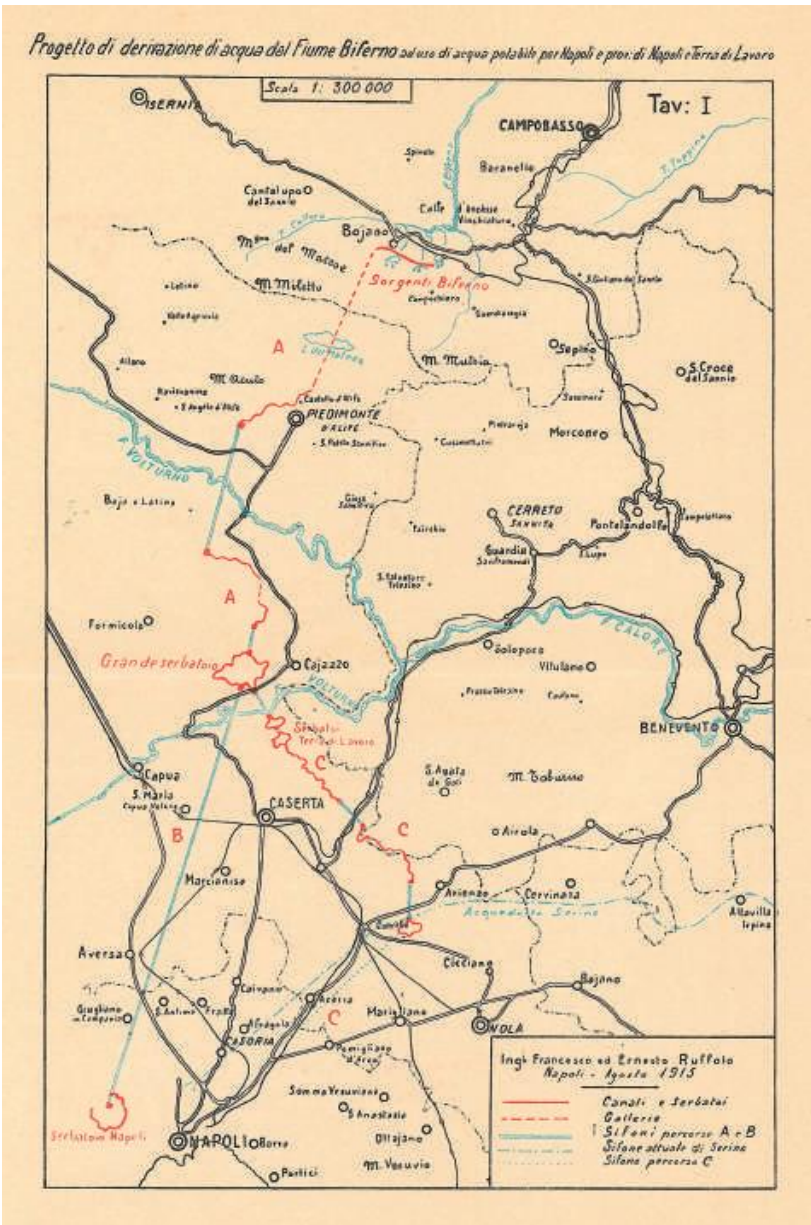


Fig. 3. Progetto preliminare delle gallerie di captazione delle sorgenti del Biferno redatto dai fratelli Ruffolo (1916).
Ruffolo brothers' preliminary project of Biferno springs catchment tunnels (1916).

interventi di derivazione e captazione delle sorgenti del Biferno non è stata di facile reperimento, soprattutto i contributi redatti per la progettazione e la costruzione delle gallerie, prodotti e pubblicati, con scarsa diffusione, nell'arco temporale che decorre dal 1892 e termina negli anni '60 del secolo scorso, circa, con l'inizio, la cantierizzazione e la conclusione delle opere. Buona parte della documentazione fotografica storica relativa alla fase di cantiere, anch'essa assai utile per lo studio, è stata tratta da archivi privati e, prevalentemente, dagli archivi dell'attuale Azienda Speciale Regionale "Molise Acque". In merito alla consistenza, alla precisa ubicazione degli ingressi ed alla conoscenza dello stato di esercizio delle opere realizzate, sono stati effettuati diversi sopralluoghi in collaborazione con l'A.S.R. "Molise Acque" e la Direzione Generale per il Ciclo Integrato delle Acque della Regione Campania, utili all'esplorazione di quasi tutti i tratti delle gallerie e necessari all'acquisizione di misurazioni e documentazione fotografica oltre che alla valutazione dello stato di con-



Fig. 4. Attività di rilievo con il laser scanner nella “Galleria superiore” (foto N. Paolantonio).

Survey activities with laser scanner in the “Galleria superiore” (ph. N. Paolantonio).

servazione dei luoghi e dei materiali utilizzati per la loro realizzazione. Ugualmente efficaci sono stati lo studio e la revisione dei contributi scientifici per la definizione delle caratteristiche fisiografiche e idrogeologiche del bacino di alimentazione delle sorgenti del Biferno, dalla cui analisi della letteratura relativa ai limiti idrografici, all’assetto strutturale, alla capacità di infiltrazione media (Civita, 1973b) e all’idrodinamica, è emerso che, sebbene già sufficientemente note fin dagli anni ‘70 del secolo scorso, le conoscenze sono andate via via definendosi. Tutto ciò è accaduto soprattutto in relazione ai rapporti tra bacini limitrofi, con i sovrastanti bacini delle sorgenti in quota ed agli scambi idrici determinati dalla complessa idrodinamica dell’intera area carsica e delle diffuse emergenze idriche sia quelle basali sia quelle presenti anche a quote più elevate. Altrettanto stimolante è stata la valutazione delle potenzialità di un’ampia e lunga galleria con più accessi, mai entrata in esercizio, che ad oggi presenta numerose e diversificate potenzialità di utilizzo. La realizzazione di tale galleria ha avuto costi importanti in relazione alle tecnologie dell’epoca, alle soluzioni ingegneristiche cui si è fatto ricorso e all’impiego considerevole di risorse umane. In collaborazione con la R.T.A. Group srl, (Rilievi To-

pografici e Aerofotogrammetrici), si sta procedendo, pertanto, al suo rilievo integrale con Laser scanner GeoSLAM ZEB HORIZON (fig. 4) al fine di valutarne eventuali destinazioni d’uso utili per la relativa valorizzazione. La realizzazione della medesima opera, infatti, soprattutto in relazione alle sue dimensioni, oggi comporterebbe uno sforzo complessivo e un impiego di risorse difficilmente sostenibile nel confronto con altre priorità infrastrutturali certamente più necessarie; pertanto, l’esistenza di tale struttura sotterranea, mai utilizzata, le cui potenzialità si prestano all’esercizio in diversi settori d’interesse economico-sociale, è stata valutata quale opportunità di sfruttamento per differenti finalità sostenibili (culturali, scientifiche, sociali, alimentari, sanitarie, ecc.) anche di tipo economico.

LE ACQUE DEL MATESE

Blue Marble è il nome che fu dato al pianeta Terra ripreso nella famosa immagine scattata il 7 dicembre del 1972 dall’equipaggio della missione spaziale Apollo 17. La favorevole posizione del razzo Saturn V, dal quale fu scattata la fotografia, rispetto alla particolare

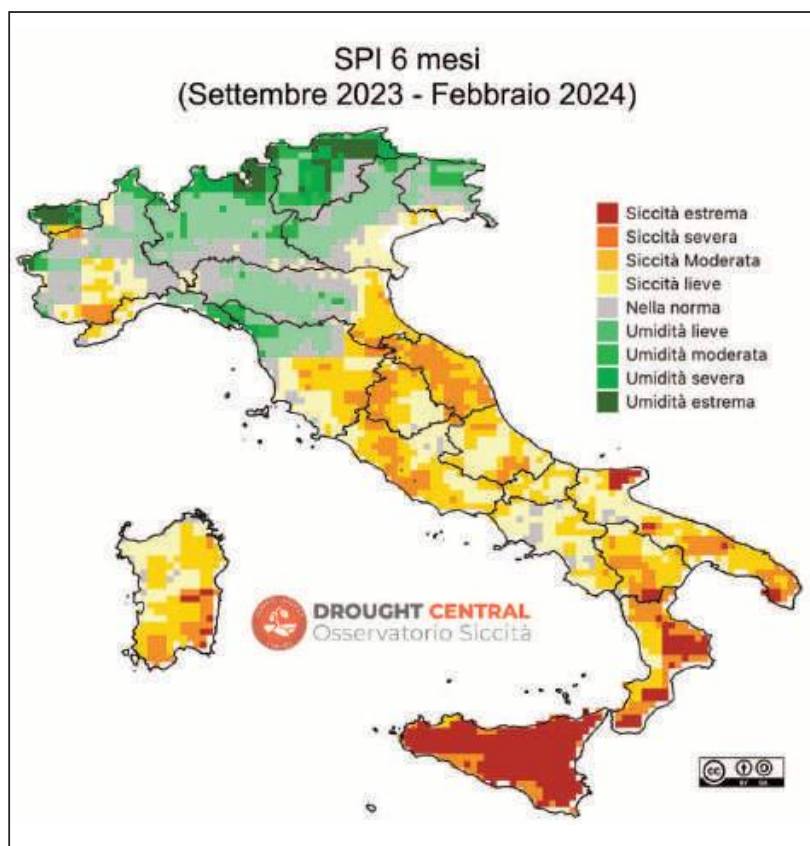


Fig. 5. Report sulla siccità del periodo settembre 2023 / febbraio 2024 del Drought Central Osservatorio Siccità dell'Istituto per la Bioeconomia del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Report on the drought between September 2023 and February 2024 from the Drought Central Observatory of the Institute for Bioeconomy of the National Research Council.

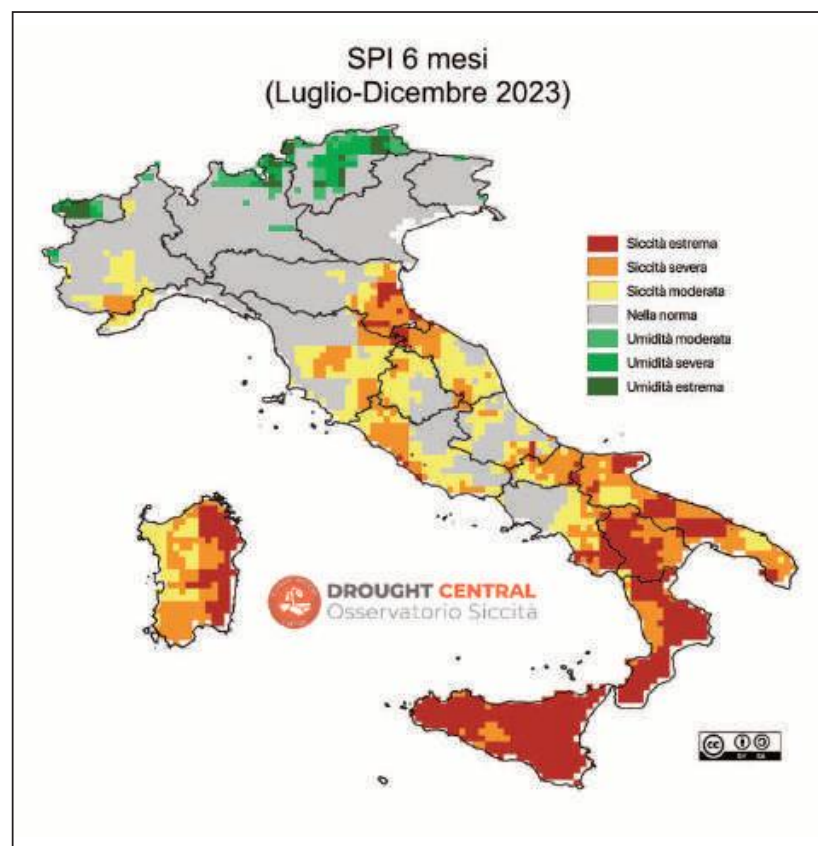


Fig. 6. Report sulla siccità del periodo luglio - dicembre 2023 del Drought Central Osservatorio Siccità dell'Istituto per la Bioeconomia del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Drought Report July-December 2023 of the Drought Central Observatory of the Institute for Bioeconomics of the National Research Council.

esposizione del pianeta Terra alla luce solare, consentì di riprendere e far apprezzare quanto la superficie terrestre fosse visibilmente occupata dall'acqua. Ma quanta acqua, in quale forma e dove è presente la preziosa risorsa idrica, sono quesiti ai quali, in relazione agli effetti dei cambiamenti climatici, sempre più in futuro, cercheremo di dare risposte così come ha già fatto l'idrogeologo russo Igor Shiklomanov il quale, in un importante contributo (Shiklomanov, 1993), ha tentato di valutare quanta acqua dolce fosse ancora disponibile per dissetare il pianeta. Gli esiti dell'indagine possiamo definirli, eufemisticamente, interessanti; solo il 2,5 % dell'acqua presente sulla Terra è costituito da acqua dolce, di tale percentuale l'1,75 % è costituita da ghiacciai e calotte glaciali; solo lo 0,75 % è costituito da acque sotterranee dalle quali, prevalentemente, attingiamo l'oro blu per dissetare, e non proprio tutta, la popolazione mondiale. Le condizioni di stress idrico nelle quali versano oggi le falde, al pari del più ampiamente noto fenomeno di riduzione e perdita dei ghiacciai, entrambi strettamente correlati al quantitativo ed alle caratteristiche delle precipitazioni, sono aspetti che in occasione dell'incontro del dicembre 2009 a Lincoln nel Nebraska (USA), organizzato dalla World Meteorological Organization (WMO), indussero 22 paesi a sottoscrivere il documento noto con il nome di "Dichiarazione di Lincoln" (Hayes *et al.*, 2011). Tale

documento, tra le altre cose, sancì di individuare nello *Standardized Precipitation Index* (SPI), l'indice di riferimento internazionale da utilizzare per l'identificazione meteorologica del fenomeno della siccità che ne quantifica, secondo precisi algoritmi (Guttman, 1999), il grado e la tipologia secondo una scala che va dal valore di "Umidità Estrema" a "Siccità Estrema" (McKee, 1993). Tale indice, come rilevato dal Drought Central (Osservatorio Siccità dell'Istituto per la Bioeconomia del Consiglio Nazionale delle Ricerche / <https://droughtcentral.it/>), nella valutazione delle precipitazioni del semestre settembre 2023 / febbraio 2024, ha configurato diversi quadranti del Molise, molti anche dei Monti del Matese, in una situazione variabile tra siccità lieve e siccità moderata (fig. 5). Tale trend si era già manifestato per il semestre precedente, luglio/dicembre 2023 (fig. 6) con la configurazione, per l'intera regione, di un indice di siccità moderata e un indice di siccità severa con punte di siccità estrema in tre quadranti di rilevazione. Se è vero che tali estrapolazioni vanno considerate, comunque, nel complesso dell'annata idrologica che, per tutto il 2023, per il Molise, si è configurata come siccità nella norma, è altrettanto vero che le tendenze del surriscaldamento e delle precipitazioni hanno iniziato ad avere effetti sulle capacità di rinnovamento delle riserve idriche a livello globale (Taylor *et al.*, 2012; Barbieri *et al.*, 2023). Le tendenze

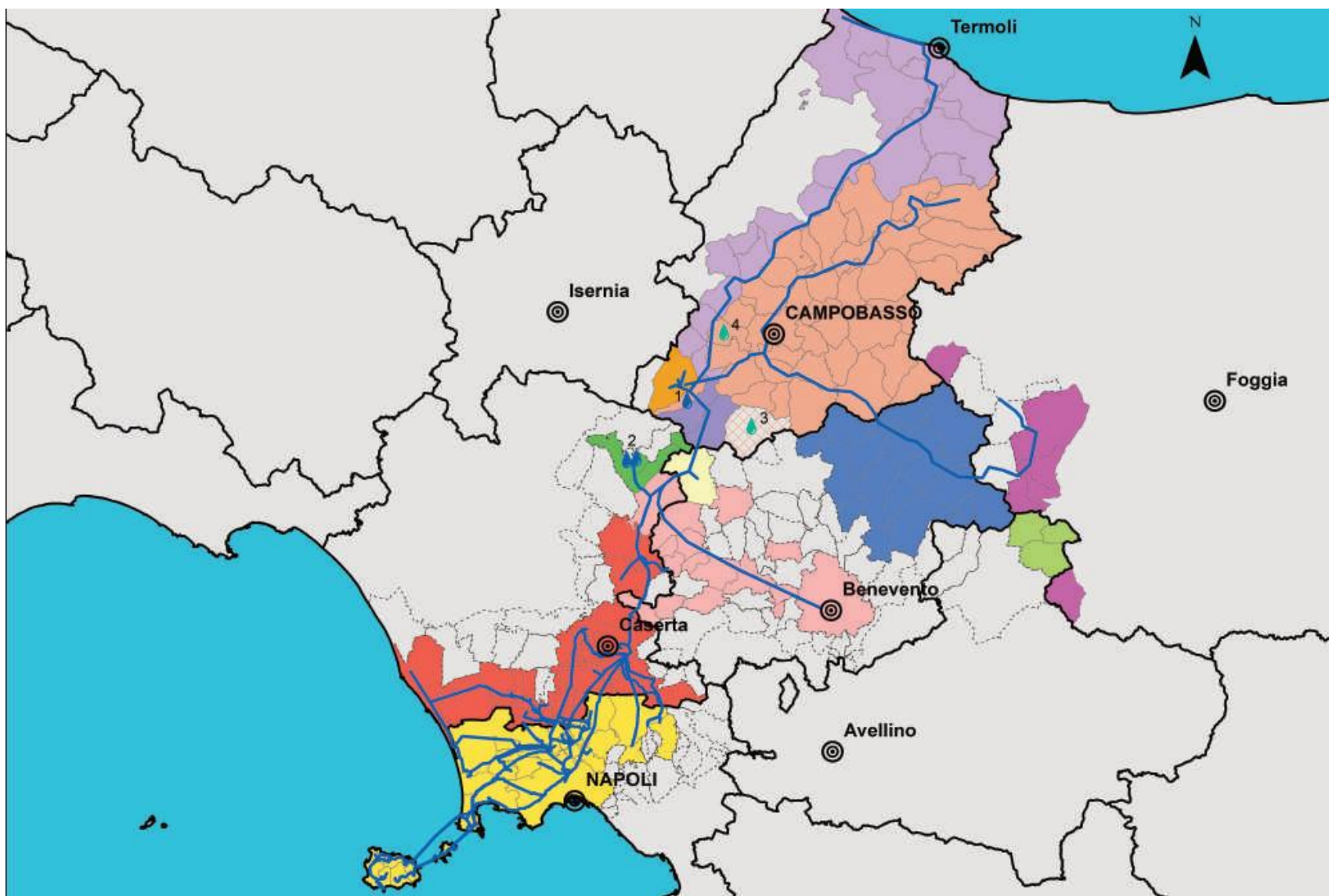


Fig. 7. Schema idrico di distribuzione delle acque del Biferno nelle regioni Molise, Puglia e Campania: 1. Biferno; 2. Torano e Maretto; 3. sorgenti di Sepino; 4. Sorgente S. Maria / Busso (disegno P. Gioia e M. Mancini)..

Biferno water distribution scheme in Molise, Apulia and Campania: 1. Biferno; 2. Torano and Maretto; 3. springs in Sepino; 4. S. Maria spring / Busso (drawing P. Gioia e M. Mancini)..

di diminuzione delle precipitazioni, in particolar modo nevose, come quelle rilevate per l'Appennino in genere, ma soprattutto per quello centro-meridionale, se confermate negli anni a venire, avrebbero ripercussioni preoccupanti per quello che l'Autore Giovanni Giuseppe Caracciolo (2018) ha correttamente definito come "L'Oro Blu del Matese" riferendosi alle diverse fonti di approvvigionamento idrico degli acquedotti Campano e Molisano, oltre che delle decine di acquedotti locali. Quanto il Matese sia un'area geografica ancora ricca di risorse idriche, quanto il trend del cambiamento climatico possa potenzialmente determinare un progressivo impoverimento anche delle sue falde, quanto e soprattutto la dispersione e le perdite della rete idrica di distribuzione sia ancora un fenomeno eccessivamente rilevante, deve far riflettere, e in tempi brevi, sulla necessità di proteggere l'intera area carsica dei Monti del Matese e di investire in opere di ristrutturazione ed ottimizzazione delle rete in vista di un più razionale e contingentato utilizzo delle acque. È in tale ottica che, oggi ancora di più, vanno prese in seria considerazione le acque delle sorgenti del Biferno che dal Matese, at-

traversando l'intera sezione della penisola italiana, raggiungono la città di Termoli sulla costa adriatica e l'Isola di Ischia nel Tirreno (fig. 7). Tali condizioni ancora sussistenti, tuttavia, sempre meno sostenibili in relazione ai trend climatici ed idrologici (Taylor *et al.*, 2012), dovranno presto essere presi in seria considerazione e rivalutati, nel complesso delle risorse idriche del Matese, anche quale preziosa occasione di sviluppo economico sostenibile.

INQUADRAMENTO STRUTTURALE E IDROGEOLOGICO DEL BACINO DI ALIMENTAZIONE

L'area carsica dei Monti del Matese, costituita nel suo complesso da un'imponente dorsale carbonatica, affiora nel settore mediano della catena appenninica, tra il bacino della valle del Volturno a ovest (Venafro - Alife) e il bacino di Bojano a est. La complessa storia geologica di questo settore della catena ne ha influenzato diffusamente la struttura e l'idrogeologia. L'unità orografica è composta principalmente da rocce carbonatiche il

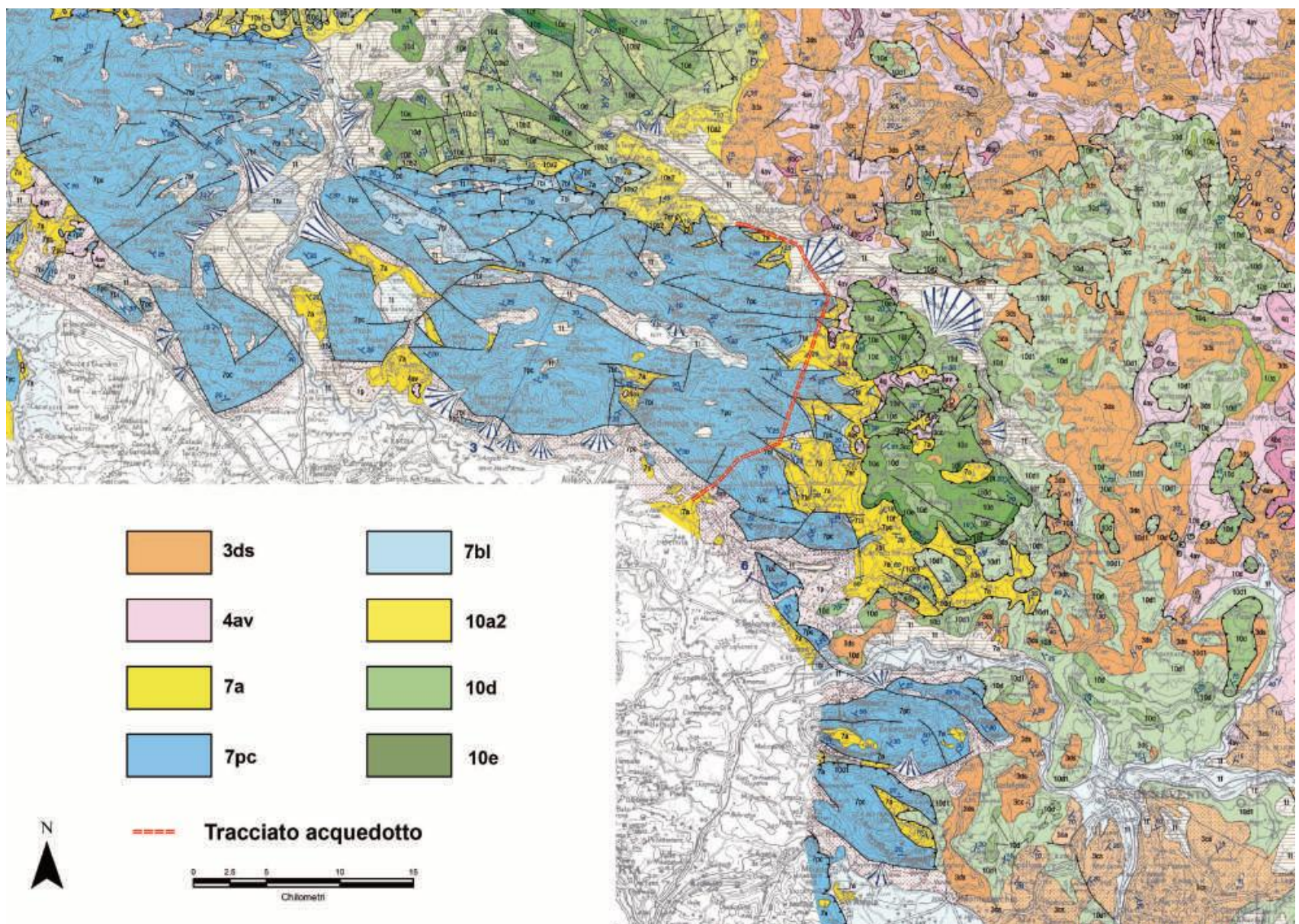


Fig. 8. Carta geologica del Matese (tratta e modificata da Vezzani *et al.*, 2010) sulla quale è indicato il tracciato dell'acquedotto.
Geological map of the Matese (taken and modified from Vezzani et al., 2010) on which the line of the aqueduct is signed.

cui rilievo topografico raggiunge il massimo altitudinale, rappresentato dalla quota di 2050 m slm di Monte Miletto (Pescatore, 1965; Civita *et al.*, 1973; Speranza *et al.*, 1998; Corniello, 1999; Boncio *et al.*, 2016). L'intero massiccio è costituito principalmente da rocce sedimentarie carbonatiche formatesi durante il Mesozoico, successivamente sollevate, piegate e fagliate in ambiente compressivo durante il Cenozoico (Pintori *et al.*, 2023). In particolare, il Matese è costituito da rocce carbonatiche attribuite ad un ambiente paleogeografico di transizione da piattaforma carbonatica a bacino (Pescatore, 1965; Corniello, 1999). Infatti, alle dolomie saccaroidi di base, ubiquitariamente estese al basamento dell'intera unità, si sovrappongono successioni geologiche afferenti a diversi ambienti paleogeografici, dalle zone di piattaforma carbonatica produttiva, alle zone di margine (AA.VV., 2003). Nel settore meridionale e centrale, il Matese mostra una tipica successione carbonatica di piattaforma subsidente dal Triassico superiore al Cretaceo superiore, sovrascorsa a calcareniti di rampa del Miocene medio; verso nord, i depositi di scarpata diventano prevalenti fino a sostituire la successione di

piattaforma carbonatica (fig. 8). Entrambe queste sequenze evolvono in sedimenti principalmente tortoniani-messiniani terrigeni, seguite dalle torbiditi del flysch molisano (Speranza *et al.*, 1998). L'accavallamento dei diversi domini paleogeografici è imputabile alla fase compressiva dell'orogenesi appenninica che ha successivamente lasciato il posto alla tettonica di tipo distensivo capace dell'apertura delle principali depressioni intramontane che si ritrovano sul massiccio (la finestra tettonica di Valle Agricola, la piana di Letino, più nota con il nome di Le Secine, quella del Torrente Sava in agro di Gallo Matese e la depressione del Lago del Matese). Come numerosi altri settori della catena appenninica, il Matese mostra evidenze di tettonica estensionale quaternaria. Tra le depressioni strutturali riconoscibili nella zona, il bacino di Bojano rappresenta quella principale nella regione del Molise. Nonostante la loro tendenza generale NW-SE, concordante all'orientazione estensionale appenninica, le aree depresse per tettonica estensionale si sono sviluppate lungo un sistema di faglie segmentato costituito da faglie normali con immersione sia verso N sia verso NE (Galli e Galadini,

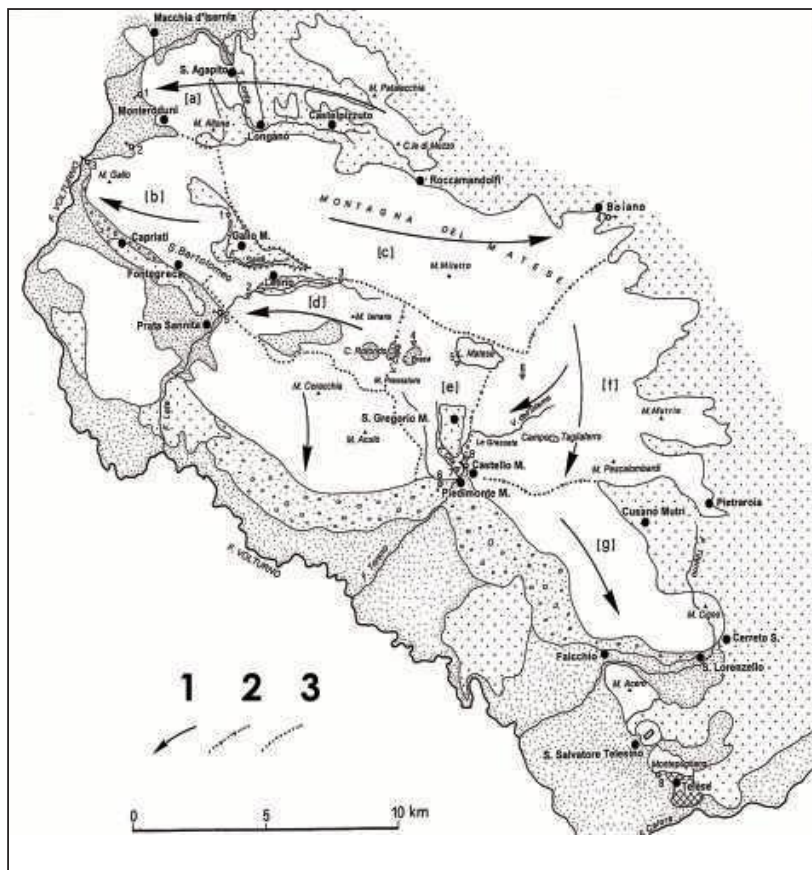


Fig. 9. Schema idrogeologico del Matese: 1) principali direzioni di flusso della falda di base; 2) spartiacque sotterranei con interscambi idrici con strutture limitrofe; 3) spartiacque sotterranei con limitati interscambi idrici con strutture limitrofe (tratto e modificato da Casale *et al.*, 1996).

*Hydrogeological scheme of the Matese: 1) main directions of groundwater flow; 2) subterranean watersheds with water interchange with neighbouring structures; 3) subterranean watersheds with limited water interchange with neighbouring structures (taken and modified from Casale *et al.*, 1996).*

2003; Ferrarini *et al.*, 2017). I principali sistemi di faglie che caratterizzano il massiccio del Matese, quelle responsabili dei più importanti eventi sismici e che ne hanno caratterizzato l'assetto strutturale, e dunque idrogeologico, sono: il sistema di faglie normali che bordano il bacino di Bojano (responsabili probabilmente degli eventi del 1456 e del 1805); la faglia normale di Pozzilli e Capriati al Volturno (*Aquae Iuliae*) immergente verso S-W (riconosciuta come faglia attiva e associata al terremoto del 1349); la faglia del Lago del Matese, la faglia di San Gregorio e la faglia di Piedimonte Matese (Boncio *et al.*, 2022; Esposito *et al.*, 2020). L'area del Matese è infatti una regione caratterizzata da un'elevata sismicità con un tasso di estensione NE-SW di $2,0 \pm 0,2$ mm/a stimato tramite dati GPS (Esposito *et al.*, 2020). Tale quadro sismotettonico attuale è in accordo con lo stile estensionale dell'intera catena appenninica centro-meridionale, caratterizzato dall'occorrenza di attività sismica che, in passato, ha raggiunto intensità molto elevate (Rovida *et al.*, 2022). Anche la regione del Matese è stata colpita, infatti, da diversi forti terremoti, causando ingenti danni e numerose vittime: 346 d.C., 847 d.C., 1293 M5.8;

1349 M6.6; 1456 M7.2; 1688 M7.0; 1805 M6.6 (Rovida *et al.*, 2022; Guidoboni *et al.*, 2007). Nonostante tale elevata sismicità, allo stato attuale, solo due faglie nel nord del Matese sono state riconosciute come responsabili di forti terremoti storici: il sistema di faglie normali Isernia-Bojano-Guardiaregia (che bordano il bacino di Bojano), associato al terremoto del 1805 e probabilmente ad uno dei sismi della sequenza del terremoto del 1456 (Di Bucci *et al.*, 2005; Galli e Galadini, 2003) e la faglia normale di Pozzilli e Capriati a Volturno considerata responsabile della sequenza del terremoto di settembre 1349 (Galli e Naso, 2009). Tale sistema di faglie, unitamente ai sistemi di fratture, è di particolare interesse dal punto di vista idrogeologico poiché diversi studi hanno dimostrato come, anche nel Matese, le strutture tettoniche svolgano un ruolo fondamentale nella circolazione delle acque sotterranee (Petrella e Celico, 2009), abbiano influenzato lo sviluppo di processi carsici ed abbiano determinato la significativa dinamica dei processi idrologici (Fiorillo e Pagnozzi, 2015). Infatti, estensivamente fratturate, le rocce consentono all'acqua sotterranea di fluire principalmente all'interno di una rete di fratture interconnesse (Celico *et al.*, 2006) vincolando così l'intera idrodinamica dalle zone di assorbimento superficiali fino ai recapiti basali senza, tuttavia, escludere probabili travasi tra le diverse unità idrogeologiche implicate nella complessa idrologia tettono-carsica dell'intero massiccio montuoso. A scala regionale la successione carbonatica che costituisce l'unità idrogeologica del Matese può essere considerata confinata da limiti di permeabilità a flusso nullo dati dalle direttrici tettoniche (sia compressive che estensionali) che bordano l'unità e mettono a contatto i depositi carbonatici con le unità flyschoidi e quelle detritico-alluvionali quaternarie; spesso, tale contatto si ritrova mascherato da agenti e spesse coltri detritiche sotto forma di conoidi alluvionali, falde detritiche e detriti di versante (AA.VV., 2003). L'assetto geologico-strutturale che caratterizza, pertanto, il massiccio del Matese influenza diffusamente l'idrodinamica dell'acquifero permettendo di individuare due grandi settori divisi dal fascio tettonico che interessa le porzioni centrali del massiccio stesso ad andamento WNW-ESE. Il settore settentrionale e quello meridionale possono essere considerati distinti ed isolati da un punto di vista idrodinamico, eccezion fatta per gli scambi idrici sotterranei che interessano le porzioni orientali dell'unità idrogeologica. Il settore meridionale può essere suddiviso come segue: i bacini sotterranei che alimentano l'alveo del fiume Liri presso Prata Sannita, il gruppo sorgivo Ielo, il settore della Piana del Volturno tra Raviscanina e Piedimonte D'Alife, la sorgente Maretto, la sorgente Torano e il Gruppo delle sorgenti del Grassano (AA.VV., 2003). Il settore settentrionale, nel suo complesso, può invece essere

distinto in due bacini sotterranei: il primo costituito dalla dorsale carbonatica di Monte Gallo, il secondo dal bacino che alimenta il fronte delle sorgenti del Biferno (Civita, 1969). Di estremo rilievo idrogeologico sono, altresì, i bacini di alta quota che alimentano le sorgenti di Capo Lete, del Lago Matese e Capo Le Mandre (Leone *et al.*, 2023), così come quelle che più diffusamente alimentano il bacino del Torrente Lorda (Celico e Petrella, 2008; Corniello, 1988). La circolazione dei bacini sopra definiti viene ostacolata e sostenuta alla base dalla formazione delle dolomie saccaroidi triassiche che essendo molto tettonizzate e spesso farinose, sono considerate motivo di forte condizionamento dell'intera idrodinamica. Per definire in dettaglio la circolazione idrica sotterranea dei due settori individuati si deve tenere conto, pertanto, della complessa architettura strutturale che caratterizza l'intera unità idrogeologica. In particolare, nell'esteso settore meridionale è possibile individuare, a nord, l'accavallamento tettonico dei calcari mesozoici sui depositi silicoclastici della piana di Gallo Matese, a nord-ovest e a est, rispettivamente, le fasce deformative legate alla linea tettonica, tipicamente trascorrente, che separa Monte Favaracchi da Monte Scoltrone e la faglia che borda il versante orientale di Monte Soglio. A ovest, il tamponamento viene eseguito dai depositi silicoclastici della piana del Fiume Sava mentre, a sud, il limite è rappresentato dal tamponamento delle dolomie saccaroidi triassiche. Considerando il complesso schema strutturale appena illustrato e il particolare ruolo di tamponamento eseguito dalle dolomie triassiche, ne consegue che è proprio la quota del tetto di questa formazione a condizionare e a sostenere la circolazione idrica sotterranea dando luogo ad emergenze e scambi idrici ipogei tra i diversi bacini individuati nel settore meridionale. Nella parte centrale di quest'ultimo, una falda sospesa presente nei calcari mesozoici posti al di sopra delle dolomie triassiche alimenta il Gruppo delle sorgenti di Capo Lete caratterizzate da notevoli escursioni nei regimi stagionali. Il settore occidentale è invece caratterizzato da un deflusso orientato verso ovest che va ad alimentare le sorgenti del Gruppo Ielo, mentre le acque delle porzioni orientali (Monte Acuto-Monte Coracchia) trovano recapito prima nelle conoidi pedemontane e poi nei depositi alluvionali della piana del Fiume Volturno. Il bacino che alimenta la Sorgente Maretto, che si sviluppa anch'esso nei calcari mesozoici e ad est nei sottobacini precedentemente illustrati, si identifica nel confinamento dato a nord dall'imponente struttura tettonica che borda la depressione del Lago del Matese e a sud dal contatto con i depositi silicoclastici della piana del Fiume Volturno. Non sono esclusi travasi idrici sotterranei da questo bacino verso gli adiacenti bacini che alimentano il Gruppo Lete a ovest e quello che alimenta la Sorgente Torano a est. La rimanente

parte del settore meridionale, per la quale sono ipotizzati importanti travasi dal settore settentrionale che alimenta le sorgenti del Biferno, è caratterizzata da un deflusso idrico sotterraneo prevalentemente orientato in direzione sud verso le sorgenti di Grassano con cospicui trabocchi in corrispondenza della sorgente Torano dove la falda è sostenuta ad una quota maggiore dalle dolomie triassiche (Casale *et al.*, 1996). Nel settore settentrionale dell'Unità Idrogeologica del Matese si individuano più semplicemente due bacini. Il primo è costituito dalla dorsale di Monte Gallo e trova recapito nell'alveo del Fiume Volturno, il secondo, corrispondente alla restante parte del settore Settentrionale, trova invece recapito, in parte, attraverso travasi sotterranei presso le sorgenti del Torano e di Grassano e, principalmente, presso l'ampio fronte delle sorgenti del Biferno (fig. 9). Tre principali gruppi di sorgenti sono alimentati lungo il versante settentrionale del massiccio nei pressi di Bojano (Civita, 1969); tali sorgenti, Majella e Santa Maria dei Rivoli, Pietrecadute, Rio Freddo, sono alimentate dal sistema carsico del settore centro-settentrionale del massiccio del Matese e hanno una portata media totale di circa 4.6 m³/s (Celico, 1983); la maggior parte di esse viene utilizzata oggi dall'Azienda Speciale Regionale Molise Acque per scopi potabili ed in parte per scopi idroelettrici.

ACQUE... DA TUTTE LE PARTI

Le condizioni idrografiche e demografiche delle contermini regioni Puglia e Campania hanno determinato, fin dalla fine del XIX secolo, un lungo dibattito prima e un acceso confronto politico poi, per l'accaparramento delle acque delle sorgenti del Fiume Biferno. L'allora Amministrazione Provinciale di Campobasso fu costretta, pertanto, a difendere una sorta di "diritto di prelazione" sullo "Sfruttamento del Fiume Biferno" (fig. 10) la cui proprietà demaniale ed il principio di solidarietà rischiavano di sottrarre a quella che presto, nel 1963, sarebbe divenuta la Regione Molise, la preziosa risorsa utile e necessaria per la produzione di energia idroelettrica e l'irrigazione delle aree d'interesse agricolo. Per dissetare le Puglie, infatti, un primo progetto fu ideato, nel XIX secolo, dall'Ing. Giorgio De Vincentiis (De Vincentiis, 1892), il quale aveva già progettato e seguita la realizzazione degli acquedotti per l'approvvigionamento dei comuni di Rotello e Colletorto. Il suo progetto prevedeva la derivazione delle acque del Biferno, in favore della Regione Puglia, da realizzarsi attraverso lo scavo di due gallerie, una per raggiungere prima il versante tirrenico in Campania ed una per arrivare poi sul versante adriatico in Puglia, lungo un tragitto di circa 400 km da Bojano ad Ostuni. Il suo studio prese in considerazione persino il bacino di ali-

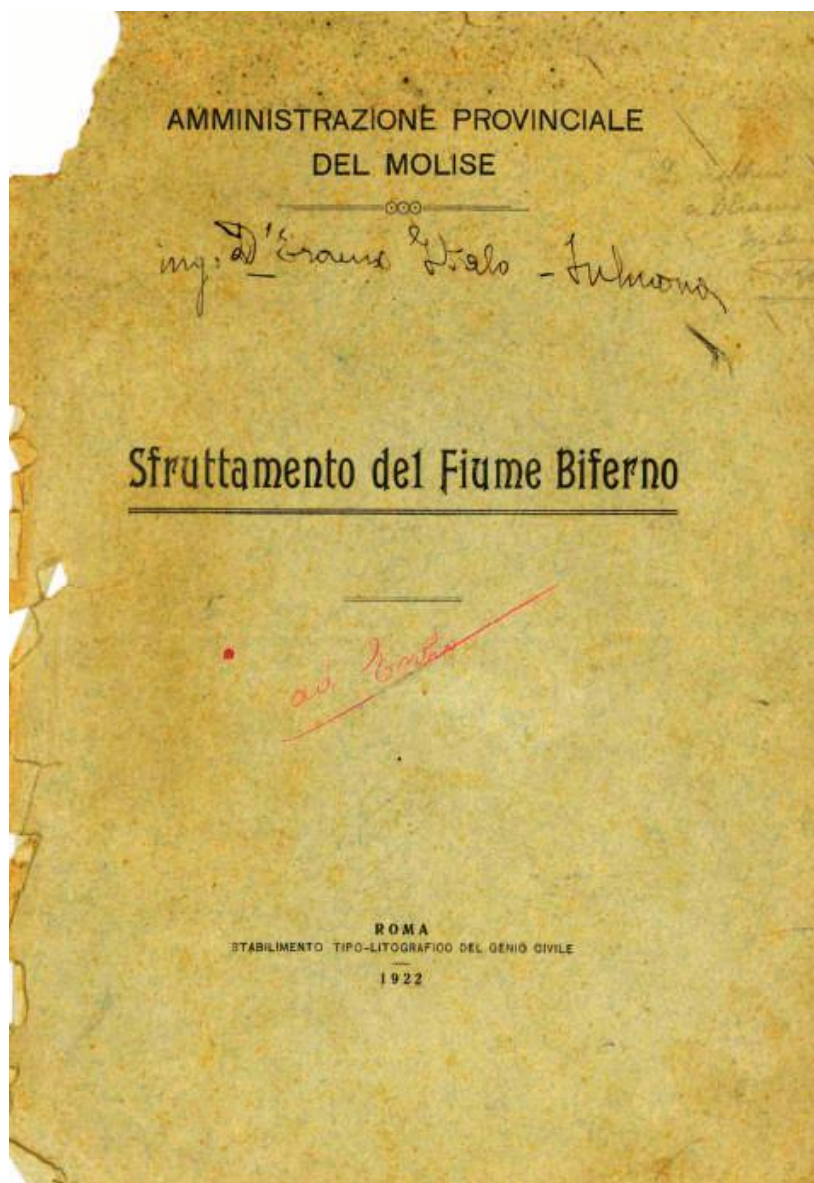


Fig. 10. Progetto dell'Amministrazione Provinciale del Molise di utilizzo del Fiume Biferno (1922).

Utilisation of Biferno river, project of the Provincial Administration of Campobasso (1922).

mentazione delle sorgenti, allora erroneamente attribuito al Lago del Matese. Erano quelli gli anni in cui le acque delle sorgenti del Biferno, in particolare quelle più copiose del gruppo di Rio Freddo, erano oggetto di contenziosi persino tra i comuni confinanti di Bojano e San Polo Matese (De Rensis, 1900). La lunga sete delle Puglie, quella che portò all'ideazione di un grande serbatoio sul Fiume Fortore, che prese poi il nome di Lago di Occhito, non fece mai abbandonare l'idea di derivare le acque del Biferno; un secondo progetto, infatti, pubblicato nel Giornale del Genio Civile (AA.VV., 1914), prevedeva la realizzazione di una lunga galleria di 15 km per trasportare le acque da Bojano fino al Torrente Tappino, dal quale sarebbero poi defluite, appunto, nel Lago di Occhito. Tuttavia, il progressivo incremento della popolazione nella città di Napoli e le previsioni demografiche per il capoluogo campano spinsero i fratelli ingegneri Francesco e Raffaele Ruffolo a realizzare il primo importante progetto per integrare la dotazione idrica dell'acquedotto campano (Ruffolo, 1916a; Ruffolo 1916b; Ruffolo,

1919; Ruffolo, 1935) (fig. 3). I due ingegneri erano già attivi in Molise con diversi altri progetti di sfruttamento delle risorse idriche; molte delle loro esperienze furono condotte già intorno al 1880, ad Isernia, dove realizzarono, ad esempio, la prima centrale idroelettrica del Molise. Tra i due ingegneri soprattutto Francesco Ruffolo fu impegnato, più in generale, quale tecnico particolarmente esperto e attivo interlocutore, nel dibattito nazionale, sull'uso delle acque a fini produttivi e sulla potabilità urbana delle risorse idriche centro-meridionali, come testimoniano le sue numerose relazioni in merito pubblicate nel corso dei primi due decenni del Novecento (Pavesio, 1985; Parisi, 2009). Il loro importante progetto costrinse l'Amministrazione Provinciale del Molise alla redazione di un primo grande programma di derivazione delle acque del Biferno per il Molise (AA.VV., 1922) che, in antitesi a quello dei Ruffolo, prevedeva ben 4 derivazioni. Di progetti per il Molise ne furono poi redatti diversi (Dal Piaz *et al.*, 1956; AA.VV., 1959), tutti con l'intento di scongiurare il rischio di ciò che venne additato come un vero e proprio furto d'acqua, laddove le autorizzazioni di derivazione erano già numerose (AA.VV., 1924; AA.VV., 1937). Fu così che il progetto dei Ruffolo, le cui opere furono poi comunque realizzate dalla Cassa per il Mezzogiorno, ed oggi sono ancora in esercizio, venne respinto dal Ministero dei Lavori Pubblici (1941) con Decreto n. 7835 a firma di Sua Maestà il Re Vittorio Emanuele III. Quelli tra le due Grandi Guerre furono decenni in cui il contenzioso tra Campania e Puglia fu combattuto da diversi ingegneri idraulici con nuovi progetti e diversi pareri (Maglietta, 1939; Passarella, 1952; Orabona, 1955; Ippolito e Viparelli, 1960a; 1960b) (fig. 11) che ancora si alternarono a quelli del Molise che decise così di non subire "il furto di acqua" da parte delle regioni limitrofe incaricando due consulenti (Arredi e Medici, 1948) al fine di analizzare opportunamente il progetto per l'acquedotto campano e di ipotizzare un migliore utilizzo delle acque del Biferno in favore del Molise (De Sanctis, 1959). L'argomento fu oggetto di discussione, per molto tempo, persino alla Camera dei Deputati (1949; 1958; 1965) ed al Senato della Repubblica (1963), così come divenne un argomento d'interesse sociale e mediatico nazionale (fig. 12) (P.d.P., 1955; Di Cocco, 1960; Orlando, 1960; Bastianini, 1960; Fiore, 1967). Anche le espropriazioni dei terreni furono operazioni poco agevoli che, spesso, trovarono soluzione solo nelle aule dei tribunali (Gazzetta Ufficiale, 1967). Fortunatamente, ma soprattutto anche in considerazione della natura carsica della montagna, estremamente accurati furono anche gli studi e le indagini idrogeologiche sollecitate e realizzate poi (Manfredini, 1958; Maniscalco e Pasquini, 1963; Formica, 1965; Celico, 1978; 1979; AA.VV.,



Fig. 11. Progetto di captazione delle acque del Biferno dell'Ing. Passerella (1952).

Engineer Passerella's project of water catchment of the Biferno river (1952).

1983; Mecchia e Piro, 2007) con l'intento principe di non incorrere in complicazioni o in irrimediabili alterazioni dei naturali deflussi idrogeologici delle numerose sorgenti del Matese (Porfirio e Anelli, 1973). Ciò che, in ogni caso, "sconvolse" i progetti e la loro realizzazione, si discusse sul campo, sottoterra, e non sui giornali, nelle aule dei tribunali o nelle aule di Montecitorio o Palazzo Madama. La montagna e le sue acque tentarono di ribellarsi e di sfuggire all'operosità dell'uomo che, solo dopo alcuni tentativi, riuscì a vincere la forza della natura, captando finalmente le acque e convogliandole negli acquedotti Molisano e Campano, fino all'Isola d'Ischia (Celentani Ungaro, 1958). Non mancarono, infatti, errori di quota, intercettazione e deviazione della falda ed altri naturali inconvenienti che comportarono, spesso, interventi correttivi (Castagnoli, 2014). La realizzazione dei lavori, finanziati con il Progetto Speciale per gli Schemi Idrici nel Mezzogiorno P.S. 29 (Zappa, 1980), fu divisa in due lotti esecutivi: quello relativo alle captazioni delle sorgenti del Biferno ed alla realizzazione di metà tracciato della galleria di valico nel versante molisano (figg. 13 e 14), il 1°

Lotto Esecutivo, fu aggiudicato all'Impresa Ing. A. & P. Di Penta (Cas. Mez., 1966) (fig. 15). Il 2° Lotto Esecutivo, quello di metà tracciato della galleria di valico e della centrale idroelettrica di Auduni fu invece aggiudicato all'impresa "Condotte" (figg. 16 e 17). Di tale fase fu protagonista e attento narratore l'Ing. Umberto Messina (Consiglio, 2006), Direttore dell'Ufficio Acquedotto Campano-molisano della Cassa per il Mezzogiorno, il quale per ben 16 anni seguì tutte le fasi, dalla progettazione all'entrata in esercizio (Messina, 1954; 1955; 1959; 1966; Messina *et al.*, 1962). La rete di gallerie, così come progettata dall'Ufficio del Genio Civile di Napoli ed approvata dal Consiglio Superiore dei LL.PP. nella seduta del 6 agosto 1949, fu realizzata dalla Cassa per il Mezzogiorno e divenne un'opera emblematica ed esemplare, persino come caso studio (Rotondi, 1968; AA.VV., 1979), negli insegnamenti di ingegneria e nelle enciclopedie (Messina, 1978). Il progetto divenne una realtà importante ed esemplare con la quale, tuttavia, si dovettero fare i primi conti, anche ingegneristici, persino di quelli intesi proprio nel senso di opera dell'ingegno;

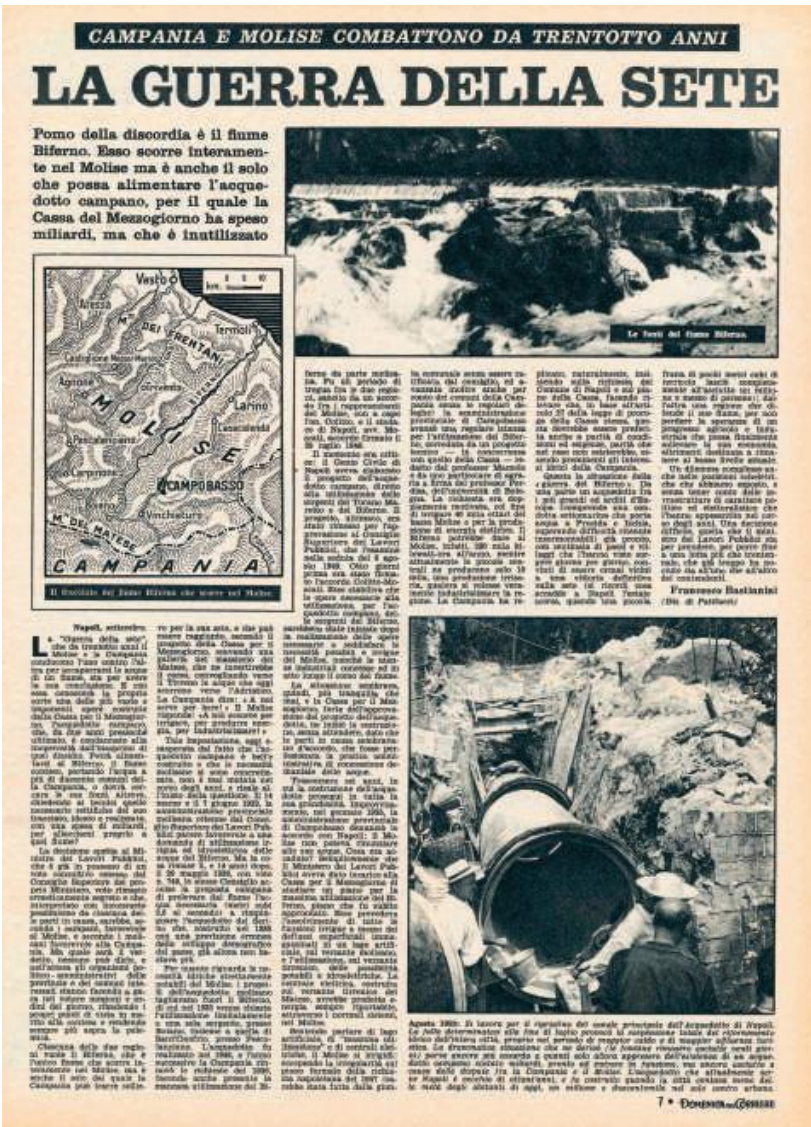


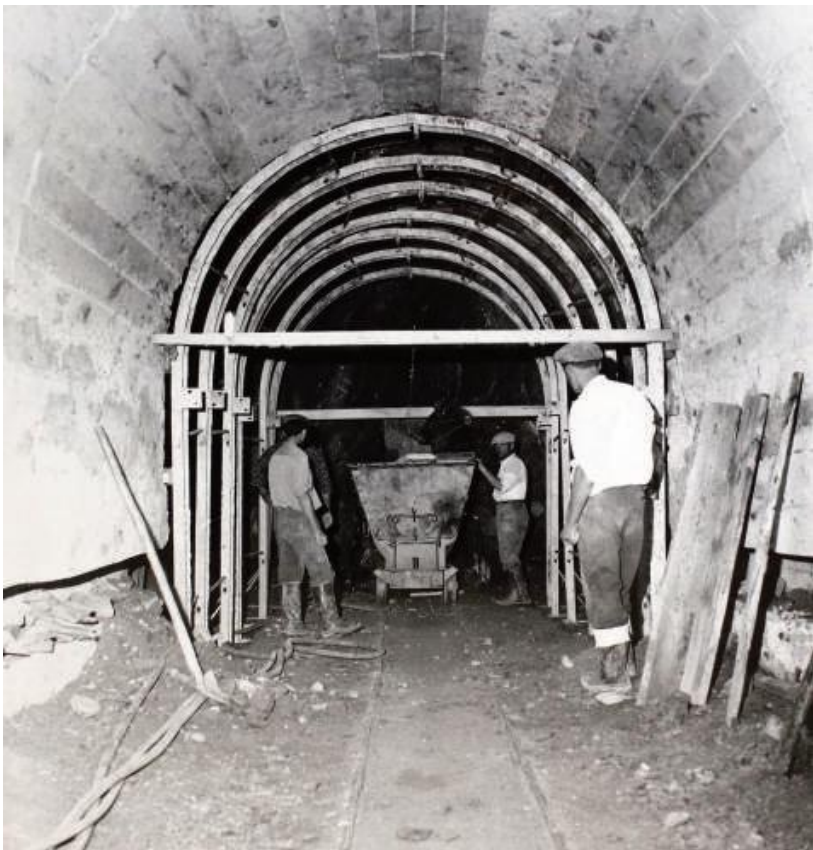
Fig. 12. Articolo di Bastianini tratto dalla Domenica del Corriere del 1960.

Article by Bastianini from Domenica del Corriere, 1960.

con tale motivazione infatti, le eredi degli ingegneri Ruffolo, trascinarono in giudizio, senza successo, per plagio, la Cassa per il Mezzogiorno e il Ministero dei Lavori Pubblici (AA.VV., 1987).

LE SORGENTI DEL FIUME BIFERNO E L’ALIMENTAZIONE DEL SISTEMA DI GALLERIE

La disponibilità idrica delle sorgenti del Fiume Biferno, anche se con discontinuità e in modo eterogeneo, fu determinata, per la prima volta in maniera ufficiale e per un periodo di circa 30 anni, attraverso misure di portata eseguite dalla Sezione Idrografica di Pescara del Servizio Idrografico Italiano, dal gennaio del 1923 e fino a dicembre del 1950 (Ministero LL.PP., 1952). Saltuarie misurazioni precedenti furono effettuate nel 1915 dal Prof. Vincenzo Gauthier e nel periodo 1921-1922 dall’Ufficio Idrografico di Napoli (Ruffolo, 1935). Le misurazioni della Sezione Idrografica di Pescara furono effettuate sia alle singole sorgenti, alcune solo dal 1931, sia alla stazione idrometrica di “Ponte della Fiumara” situata sull’asta principale del Biferno,



Figg. 13 e 14. Immagini del cantiere del 1° lotto della “Galleria di valico” realizzato dalla ditta Di Penta in Molise (Archivio ASR Molise Acque).

Images of the construction site of the 1st lot of the “Galleria di valico” built by the Di Penta company in Molise (ASR Molise Acque archive).



Fig. 15. Pianta dello stato di avanzamento dei lavori del 1° lotto della "Galleria di valico" (tratto da Cass. Mez., 1966).

Progress map of the work on the 1st lot of the "Galleria di valico" (taken from Cass. Mez., 1966).

all'interno del Comune di Bojano, alla confluenza con il Torrente Rio Freddo. Poco più a valle, infatti, il Fiume Biferno incrementa notevolmente la sua portata con le acque di affluenza, in agro di Colle d'Anchise, del Torrente il Rio (nel quale sono già confluite anche le acque del Torrente Callora) e, in agro di Baranello, del Torrente Quirino (AA.VV., 1906; Ranieri, 1956; Barazzuoli *et al.*, 1994). Dalle misurazioni eseguite alle sorgenti risultarono valori di portata media mensili variabili tra un massimo di 5,96 mc/sec nel mese di marzo-aprile ad un minimo di 3,99 mc/sec nel periodo di giugno-settembre con un valore medio di 5,16 mc/sec nell'anno. Le misurazioni eseguite nella stazione idrografica di "Ponte della Fiumara" fornirono, invece, un valore medio annuo di 5,06 mc/sec, praticamente coincidente con i deflussi totali registrati alle sorgenti. Tale evidenza risultò giustificata sia dalla natura fisiografica e geologica del bacino imbrifero a monte di tale sezione idrografica sia dalle ridotte dimensioni del bacino stesso (circa 26 Km²), il quale genera un apporto di acqua per scorrimento superficiale molto limitato; pertanto, la somma delle misurazioni delle portate delle singole sorgenti è pressoché pari alla misurazione della portata del Fiume Biferno alla stazione



Figg. 16 e 17. Immagini del cantiere del 2° lotto della "Galleria di valico" realizzato dalla ditta Condotte in Campania (Archivio privato).

Images of the construction site of the 2nd lot of the "Galleria di valico" built by the company Condotte in Campania (Private archive).

idrografica "Ponte della Fiumara". Le opere di captazione delle sorgenti del Biferno realizzate negli anni '50 (Rio Freddo) per il solo approvvigionamento idrico del Molise e poi, tra il 1960 ed il 1970 (Majella, Santa Maria dei Rivoli e Pietrecadute), per l'adduzione all'acquedotto campano, sono costituite essenzialmente da gallerie drenanti e pozzi in galleria. Tali opere comprendono il fronte acquifero che va dalle sorgenti Majella e Santa Maria dei Rivoli (captate in galleria drenante) fino alle sorgenti Pietrecadute (captate mediante pozzi di sollevamento) e Rio Freddo (in

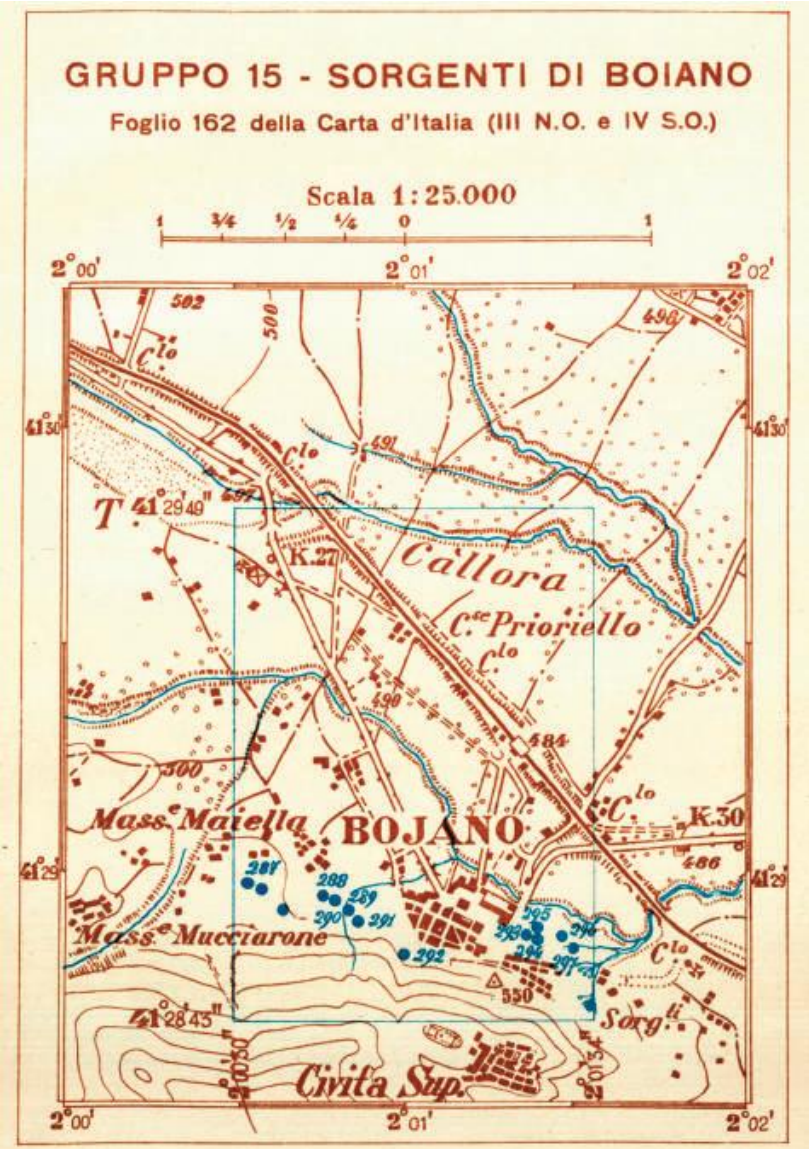


Fig. 18. Le Sorgenti del Biferno prima delle opere di captazione (Min. LL. PP., 1952).
The Biferno springs before the water catchment works (Min. LL. PP., 1952).



Fig. 19. Galleria drenante le sorgenti Rio Freddo (foto N. Paolantonio).
Tunnel draining the Rio Freddo springs (ph. N. Paolantonio).



Fig. 20. Vecchie gallerie drenanti le sorgenti Rio Freddo (foto P. Di Ludovico).
Old tunnels draining the Rio Freddo springs (ph. P. Di Ludovico).

galleria drenante). Restano escluse dalle opere di captazione le sorgenti Acquedotto (la più alta in quota, oggi non più raggiunta dalla piezometrica della falda), Torno e Macello (fig. 18); le loro acque alimentano il reticolo idrografico che si sviluppa all'interno del centro abitato di Boiano fino alla loro progressiva e definitiva confluenza nel canale artificiale oggi denominato Calderari. In merito alla quantità di risorsa idrica captata alle sorgenti del Biferno e immessa nelle reti acquedottistiche (Boiano, Acquedotto Molisano Destro, Acquedotto Molisano Centrale e Acquedotto Campano), sebbene in assenza di un costante e puntuale rilievo idrologico di tutte le emergenze, il settantennale, oramai, esercizio dell'intera rete di gallerie e l'esperienza accumulata, consentono di affermare, inequivocabilmente, che la capacità delle sorgenti del Biferno, così come quelle presenti in tutto il versante orientale del Matese, è fortemente influenzata dalla piovosità e dal quantitativo di precipitazione nevosa che si verificano nel periodo ottobre-febbraio. I dati rilevati negli anni dall'Azienda Speciale Regionale "Molise Acque" hanno evidenziato, per i tre gruppi sorgentizi citati (Majella-

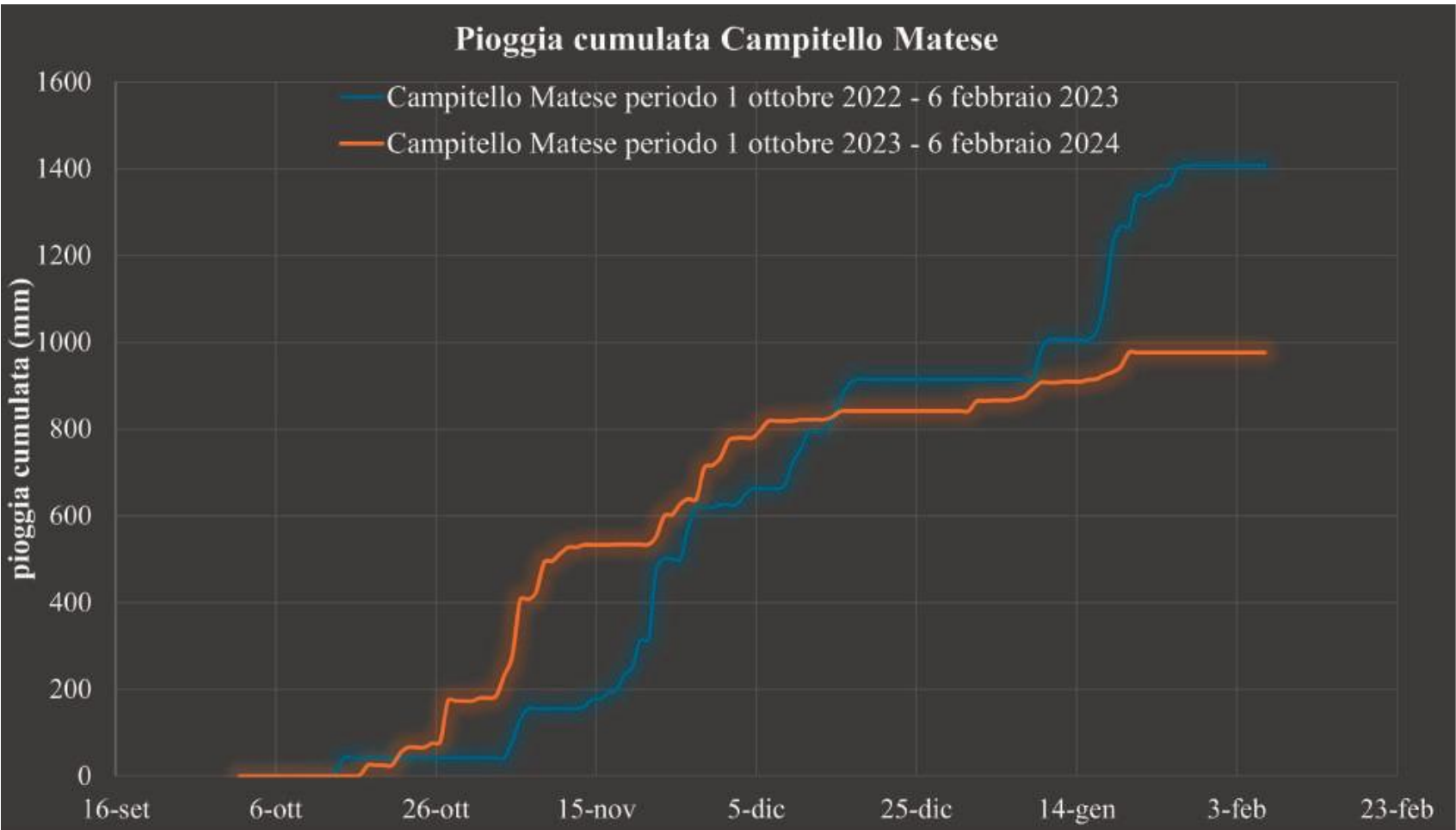


Fig. 21. Dati pluviometrici del periodo autunno/inverno 2023 e 2024 nella stazione di Campitello Matese (elaborazione dati P. Di Ludovico).

Rainfall data from autumn/winter 2023 and 2024 at Campitello Matese (data processing by P. Di Ludovico).

Santa Maria dei Rivoli, Pietrecadute, Rio Freddo) un andamento sostanzialmente simile, con un massimo di portata idraulica erogata nel periodo aprile-maggio ed un minimo nel periodo ottobre-novembre. L'acqua captata dal gruppo sorgentizio Majella-Santa Maria dei Rivoli varia generalmente tra i 30.000.000 e i 40.000.000 mc/anno. L'acqua prelevata dal gruppo sorgentizio Pietrecadute è invece utilizzata in caso di necessità per l'integrazione dei quantitativi da immettere in rete; la capacità prelevabile in questo caso per uso potabile è stimata in circa 18.000.000 mc/anno. Il gruppo sorgentizio che, nell'arco dell'anno, fornisce generalmente un maggior quantitativo di acqua captata è il gruppo di Rio Freddo che, in annate particolarmente piovose, può raggiungere anche un volume di circa 60.000.000 mc/anno. La sua sorgente è situata a est della città di Bojano, lungo depositi di detriti che coprono la faglia tra le sequenze calcaree e di flysch (Corniello *et al.*, 1988; Petrella e Celico 2009). Il gruppo sorgentizio scaturisce al confine tra i comuni di Bojano e San Polo Matese, in una zona di contatto stratigrafico tra i calcari e i sedimenti terrigeni. Le acque di questa sorgente sono captate in galleria drenante ad una quota di 509 m slm (fig. 19) dalla quale, unitamente alle acque provenienti dalla galleria delle sorgenti Majella, Santa Maria dei Rivoli e Pietrecadute, sono dirottate, in parte negli acquedotti molisani

centrale e destro, quest'ultimo attraverso la stazione di sollevamento di Santa Maria delle Macchie in agro di Vinchiatturo fino al serbatoio di Monteverde; in parte, verso l'Acquedotto Campano, nella galleria di valico del Matese fino alla località di Curti in agro di Gioia Sannitica in provincia di Caserta. Fino ai primi anni '60 del secolo scorso, ossia prima della realizzazione del 1° lotto della galleria di valico, le sole acque della sorgente Rio Freddo erano invece captate attraverso altre gallerie drenanti poste ad una quota superiore più alta di circa 15 m; tali gallerie, dalle quali era alimentato l'acquedotto molisano destro, oggi non sono più in esercizio (fig. 20) a causa dell'abbassamento della quota di affioramento delle emergenze idriche determinato improvvisamente durante i lavori di captazione e di scavo della galleria di valico il cui primo lotto di costruzione ebbe inizio proprio alle Sorgenti Rio Freddo. Dall'analisi dei dati è possibile affermare, altresì, che la captazione del gruppo Rio Freddo è quella che risente di una maggiore variabilità; la portata massima prelevata può variare, nel corso dell'anno, anche di 2.500 l/s tra i periodi di maggiore afflusso rispetto ai periodi di magra. La captazione del gruppo Santa Maria dei Rivoli presenta, invece, un regime più costante con una variazione massima che generalmente non supera i 1.200 l/s. Il regime di tali rilevanti sorgenti, di cui si è sottolineata l'importanza strategica, economica e

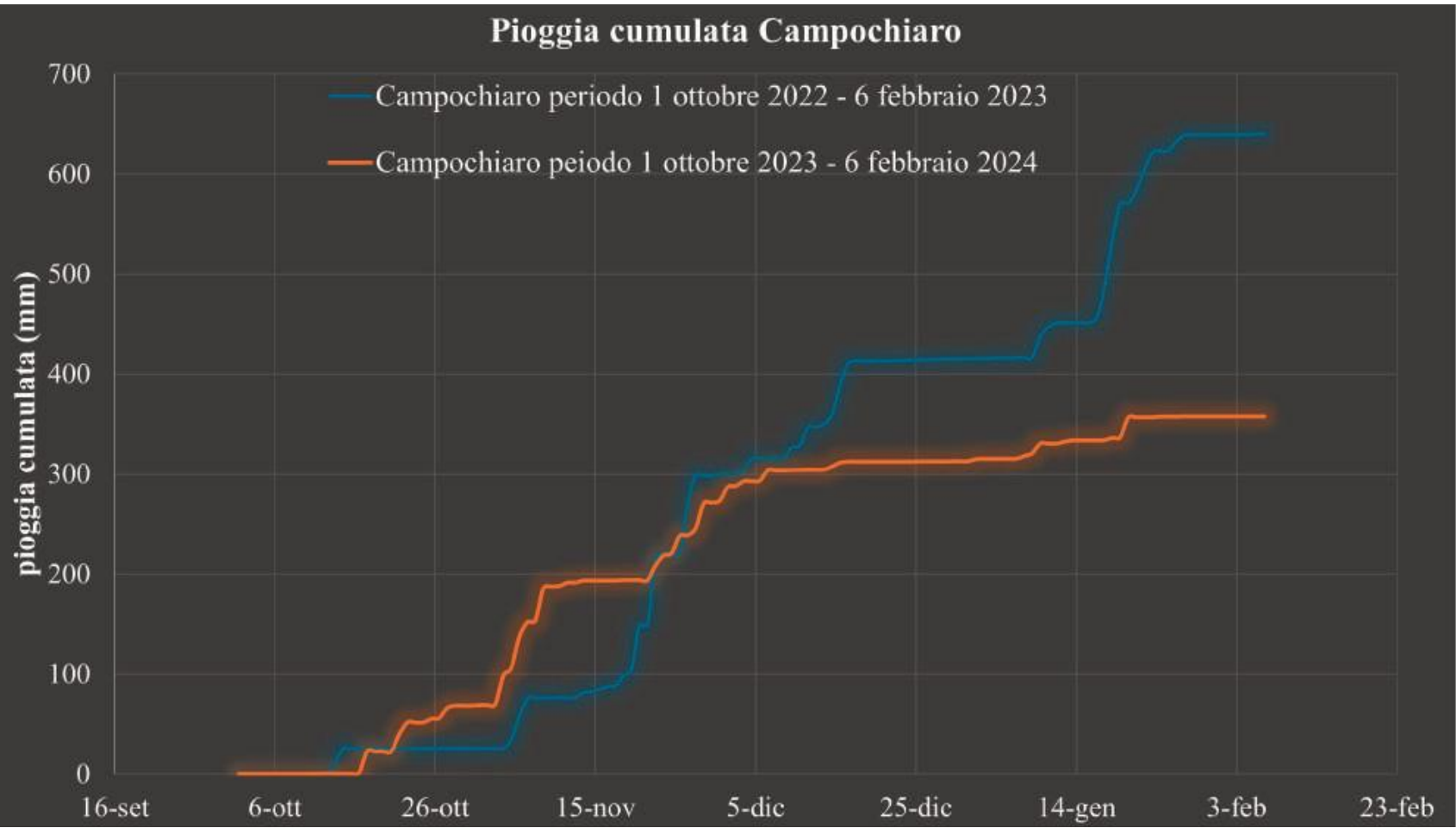


Fig. 22. Dati pluviometrici del periodo autunno/inverno 2023 e 2024 nella stazione di Campochiaro (elaborazione dati P. Di Ludovico).

Rainfall data from autumn/winter 2023 and 2024 at Campochiaro (data processing by P. Di Ludovico).

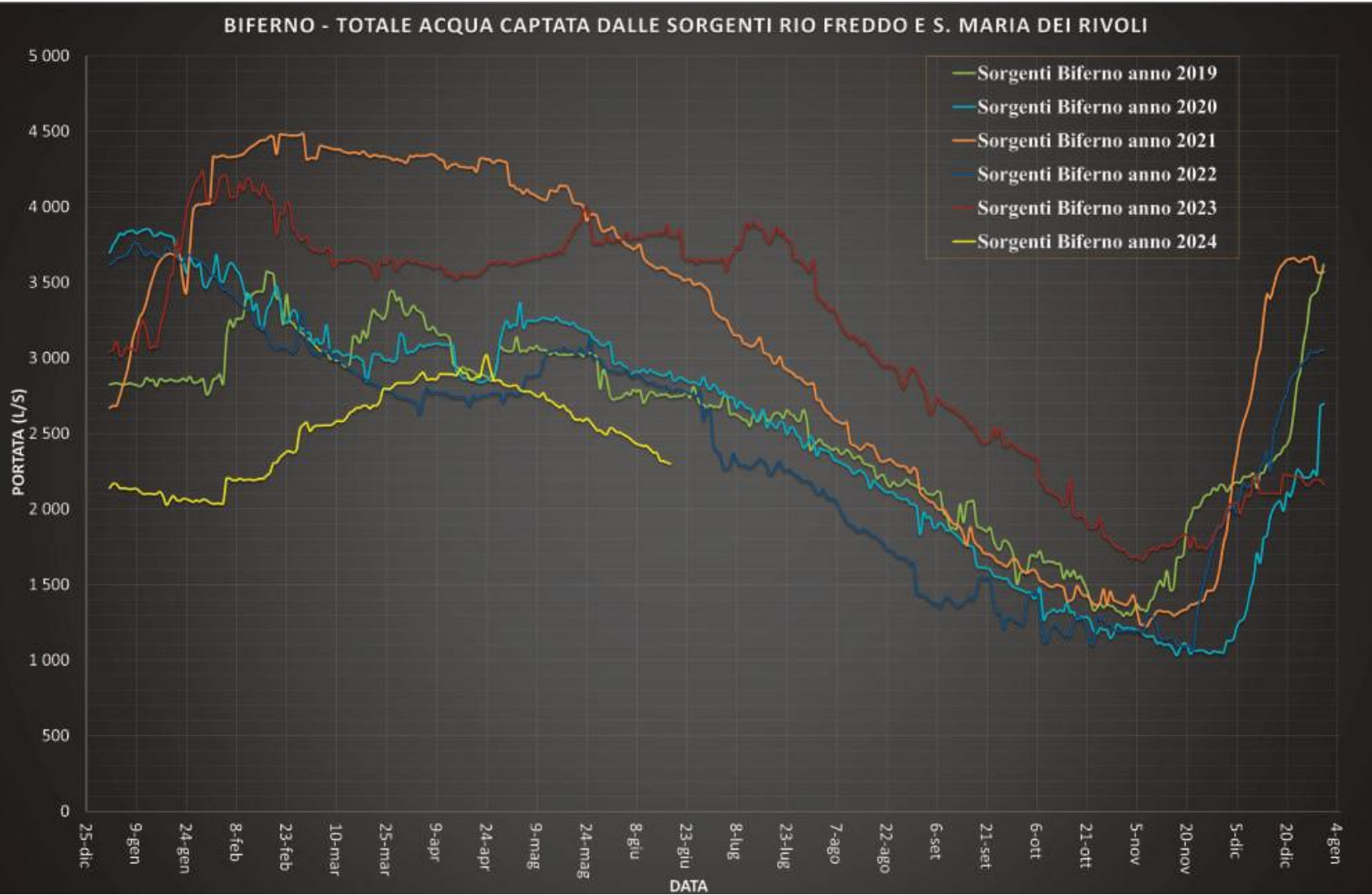


Fig. 23. Andamento dell’apporto idrico delle sorgenti Santa Maria dei Rivoli e Rio Freddo dal 2019 al 2024 (elaborazione dati P. Di Ludovico).

Water supply trends of the Santa Maria dei Rivoli and Rio Freddo springs from 2019 to 2024 (data processing by P. Di Ludovico).

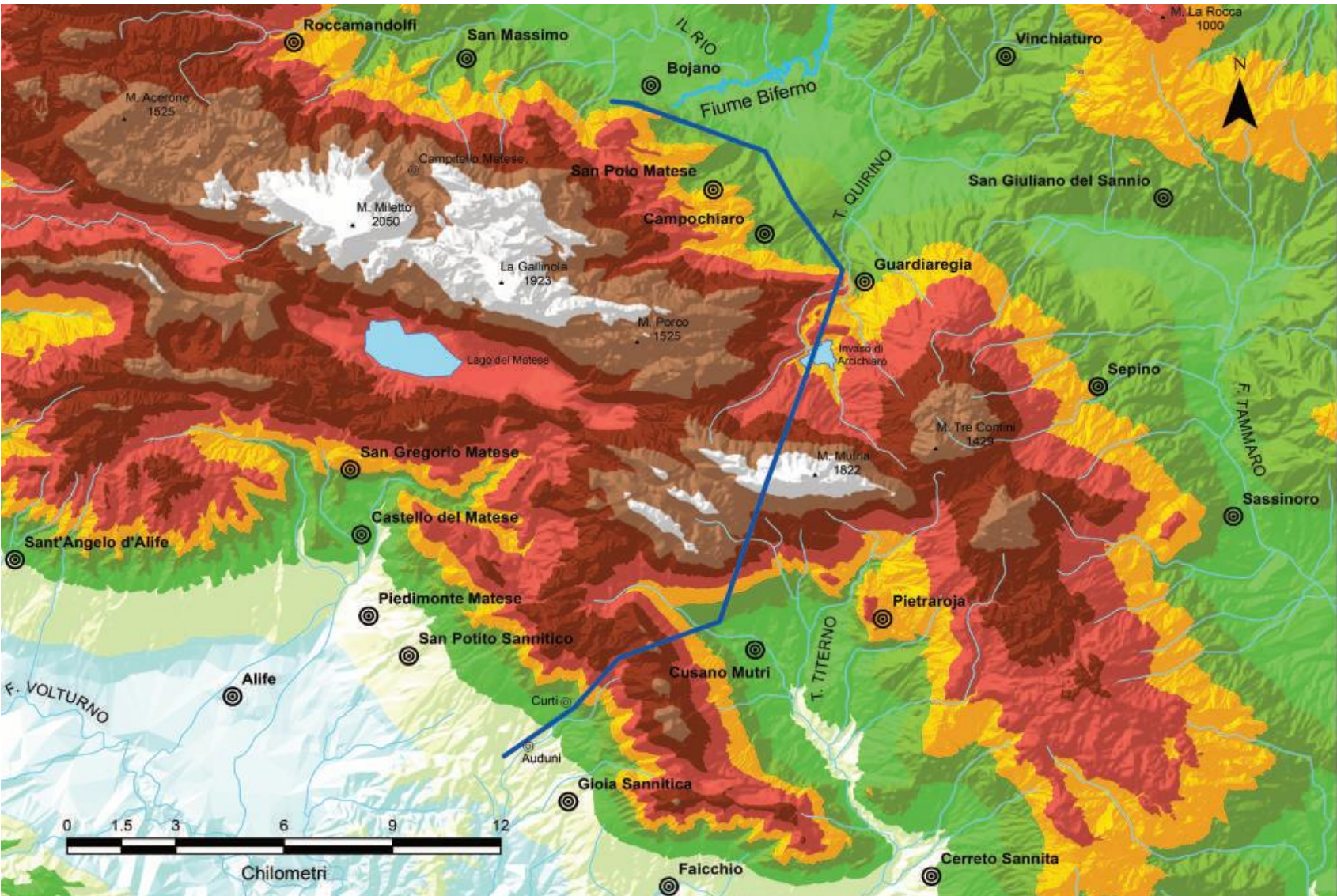


Fig. 24a. Tracciato dell'intero sistema di gallerie di drenaggio, captazione e trasporto delle sorgenti del Biferno (disegno P. Gioia).
Layout of the entire system of tunnels for draining, capturing and transporting the Biferno springs (drawing P. Gioia).

sociale, non è tuttavia esente da variazioni, e seppur i quantitativi di acqua erogata potrebbero far pensare alla disponibilità di una risorsa idrica illimitata e duratura, la vulnerabilità e la sensibilità di questi sistemi acquiferi è estremamente elevata. Si riportano a titolo di esempio nelle figure 21 e 22 le precipitazioni cumulate registrate alle stazioni pluviometriche di Campitello Matese e Campochiaro per il periodo ottobre-novembre 2022-2023 e 2023-2024. Si registra una quasi totale assenza di precipitazione nevosa unitamente ad una forte diminuzione delle piogge nel periodo ottobre 2023 - febbraio 2024 rispetto al periodo ottobre 2022 - febbraio 2023 a cui corrisponde una diminuzione delle portate complessivamente erogate dalle sorgenti S. Maria dei Rivoli e Riofreddo (fig. 23). Ciò sottolinea come la dinamicità del sistema è estremamente soggetta ai contributi di ricarica in arrivo sul bacino sottoforma di precipitazioni meteoriche soprattutto nevose e come, per una corretta futura gestione delle risorse idriche, è indispensabile valutare e seguire da vicino i potenziali effetti dei cambiamenti climatici sugli acquiferi carbonatici carsici e fratturati che caratterizzano il Molise e tutta la catena appenninica.

LE GALLERIE DI DRENAGGIO, CAPTAZIONE E TRASPORTO

L'intera struttura è composta essenzialmente da un'unica galleria, lunga circa 28 km (figg. 24a e 24b), che dalla sorgente Majella, in Bojano (CB), fino all'esito in località Curti in agro di Gioia Sannitica (CE), drena, capta e trasporta le acque del Biferno, arricchendosi progressivamente, sempre in Bojano, anche delle sorgenti Santa Maria dei Rivoli, Pietrecadute e Rio Freddo. In corrispondenza di determinate strutture, tale galleria è dotata di un articolato sistema di accessi (finestre e discenderie), derivazioni, punti di misurazione e camere di manovra. Nella parte iniziale della galleria, lungo il tratto che si sviluppa dalla sorgente Majella alla sorgente Santa Maria dei Rivoli, tramite un pozzo ubicato presso la sorgente Majella ed una finestra posta a valle della sorgente Santa Maria dei Rivoli, il tracciato è interconnesso ad una galleria superiore molto ampia. Tale galleria non è mai entrata in esercizio poiché realizzata ad una quota superiore a quella del livello di sfioro del fronte acquifero. Ad ogni tratto di galleria e ad ogni accesso (finestra o discenderia) è stata conven-



Fig. 24b. Rappresentazione schematica della rete di gallerie e accessi (disegno M. Mancini).
Schematic representation of the network of tunnels and accesses (drawing M. Mancini).



Fig. 25. Galleria della “Finestra Majella” (foto N. Paolantonio).
“Finestra Majella” tunnel (ph. N. Paolantonio).



Fig. 26. Ambiente di giunzione tra la “Finestra di Santa Maria dei Rivoli superiore” e la “Galleria superiore” (foto N. Paolantonio).

Junction between the “Finestra di Santa Maria dei Rivoli superiore” and the “Galleria superiore” (ph. N. Paolantonio).

zionalmente attribuita una denominazione, laddove esistente, ereditandola dai progetti realizzati negli anni '60 del secolo scorso. Non connessa e isolata da tutto il sistema è presente solo una piccola galleria di saggio, la prima realizzata, lunga circa 90 m e scavata per la captazione della sorgente Majella; fu subito abbandonata per un evidente errore di quota che non consentì di intercettare le acque. Tale galleria fu visitata una prima volta, da uno degli autori, oltre dieci anni or sono; attualmente l'accesso è interdetto poiché la Regione Molise ha alienato a titolo oneroso, a privati, tutti i terreni della zona di protezione esterna delle sorgenti del Biferno, pertanto, il suo ingresso non è più di pertinenza dell'Azienda Speciale Regionale “Molise Acque”, così come tutta l'area circostante.

Le strutture tutte di accesso, raccordo e deflusso delle acque, delle quali si compone l'intero complesso ipogeo, sono costituite da differenti soluzioni ingegneristiche. Le diverse tipologie di “canale/galleria” nel quale defluiscono le acque, presentano differenze, essenzialmente, in relazione alla presenza o meno di rivestimento in cemento armato e prendono il loro nome in considerazione delle sorgenti intercettate e drenate, così come anche i toponimi dei luoghi attraversati e la differente soluzione costruttiva possono averne determinato la denominazione. Gli accessi dall'esterno al “canale/galleria principale”, invece, laddove sono stati realizzati in piano, ossia senza alcuna percettibile pendenza, quale soluzione ingegneristica è stata utilizzata la cosiddetta “finestra”. In relazione, invece, alla presenza di un'importante differenza di quota tra l'accesso dall'esterno ed il “canale/galleria”, si è optato per lo scavo di “discenderie”, come nel caso di Guardiaregia. Finestre e discenderie possono avere lunghezze differenti in re-

lazione alla distanza tra l'accesso dall'esterno e la profondità di scavo del “canale/galleria” principale. Gli imbocchi, come quello di Fosso Abate, sono, invece, essenzialmente, degli accessi realizzati a ridosso del “canale/galleria” principale nei tratti in cui lo stesso è prossimo alla superficie. Le gallerie, gli accessi e le strutture di raccordo delle quali si compone l'intero complesso (fig. 24b) sono così di seguito descritti:

1) Finestra Majella

È una galleria interamente rivestita in cemento armato (fig. 25) sotto il cui piano di calpestio è presente un canale scolmatore di sicurezza per eventuali tracimazioni, al quale si accede da una serie di tombini presenti lungo tutto il tracciato; tale finestra consente l'accesso alla galleria superiore non in esercizio, è lunga circa 163 m e a 158 m dall'ingresso presenta un pozzo (profondo circa 7 m) di accesso alla sottostante galleria principale in esercizio; la galleria termina in un più largo ambiente di raccordo con la galleria superiore. Al suo ingresso, realizzato con doppia porta d'accesso di sicurezza, sotto il piano di calpestio è presente una vasca di raccolta delle acque provenienti dallo scolmatore al cui sfioro è raccordata una tubazione di scarico.

2) Galleria superiore

Galleria non in esercizio, è lunga circa 550 m, ha un'altezza progressivamente variabile da circa 3 m in direzione nord a circa 6 m in direzione sud; vi si accede tramite le finestre Majella e Santa Maria dei Rivoli Superiore (fig. 26); al suo termine presenta una finestra di affaccio sulla sottostante galleria principale in esercizio; si presenta in parte rivestita con centine di cemento armato (fig. 27) e in parte con la superficie di



Fig. 27. “Galleria superiore” (foto N. Paolantonio).

“Galleria superiore” (ph. N. Paolantonio).

scavo libera. La presenza di materiali e attrezzature residue della fase di cantiere dimostra, come confermato dalle testimonianze raccolte (com. pers. Sig. M. Spina), che lo scavo è stato abbandonato quando si è preso atto dell’errore di quota.

3) Finestra Santa Maria dei Rivoli Superiore

Come la Finestra Majella, è una galleria interamente rivestita in cemento armato sotto il cui piano di calpestio è presente un canale scolmatore di sicurezza per eventuali tracimazioni, al quale si accede da una serie di tombini presenti lungo tutto il tracciato. Tale finestra consente l’accesso alla galleria superiore non in esercizio (fig. 28); è lunga circa 199 m e termina in un più largo ambiente di raccordo con la galleria superiore. Al suo ingresso, realizzato con doppia porta d’accesso di sicurezza, sotto il piano di calpestio è presente una vasca di raccolta delle acque provenienti dallo scolmatore al cui sfioro è raccordata una tubazione per l’evacuazione.

4) Galleria Majella

Corrisponde alla parte iniziale drenante di tutto il complesso in esercizio, pertanto, è sempre allagata; entrando dalla Finestra Santa Maria dei Rivoli e giunti nella Galleria Santa Maria (fig. 29) dei Rivoli, vi si accede direttamente in acqua, sia dal fondo della galleria sulla destra, sia da un pozzetto con scala in metallo (anche in questo caso direttamente in acqua), dalla camera di manovra della stessa Galleria SMR, oppure, anche in questo caso direttamente in acqua, dal pozzo della Finestra Majella posta a livello superiore. La Galleria Majella, realizzata ad una quota di 509 m slm, è a foro cieco sulla destra in direzione nord da dove, con quantitativi progressivamente maggiori e lungo una pendenza progressivamente maggiore, drena le acque delle polle più alte della sorgente Majella; si sviluppa interamente in roccia non rivestita per una lunghezza di circa 800 m; è tale condizione che consente un evidente ed importante drenaggio delle acque. A 200 m dal fronte di scavo, in destra idrografica, è presente l’accesso al pozzo di raccordo con la galleria superiore. A metà tracciato la galleria intercetta una grande faglia, il cui effetto tampone fa affiorare in alveo ingenti quantitativi d’acqua. Prima del suo termine, in corrispondenza del vano di captazione con la camera di manovra e il punto di misurazione della Galleria SMR, sulla destra, una galleria secondaria di circa 20 m convoglia le acque nella struttura di derivazione, presa e recapito delle acque di alimentazione dei serbatoi San Giovanni e San Michele, utilizzati per l’alimentazione della città di Bojano, e per un terzo serbatoio a servizio della zona industriale di Monteverde di Bojano.

5) Finestra Santa Maria dei Rivoli

È l’ingresso dal quale si accede alla Galleria Santa Maria dei Rivoli direttamente nella camera di manovra; è lunga circa 150 m ed è percorsa interamente dalle tubazioni che alimentano i serbatoi San Giovanni e San Michele per l’alimentazione della città di Bojano e il serbatoio a servizio della zona industriale Monteverde di Bojano. In prossimità dell’ingresso si trovano gli impianti di potabilizzazione e i quadri di controllo dell’impianto di illuminazione (qui presente e funzionante) (fig. 32).

6) Galleria Santa Maria dei Rivoli

È la galleria di drenaggio delle diverse sorgenti Santa Maria dei Rivoli; vi si accede dalla Finestra Santa Maria dei Rivoli. È interamente rivestita in cemento armato, ad esclusione della parete di drenaggio posta sulla destra del tracciato, sulla quale una serie di archi in cemento delimitano le pareti in roccia dalle quali le acque vengono progressivamente drenate e lasciate tracimare nel canale di trasporto posto al di sotto della

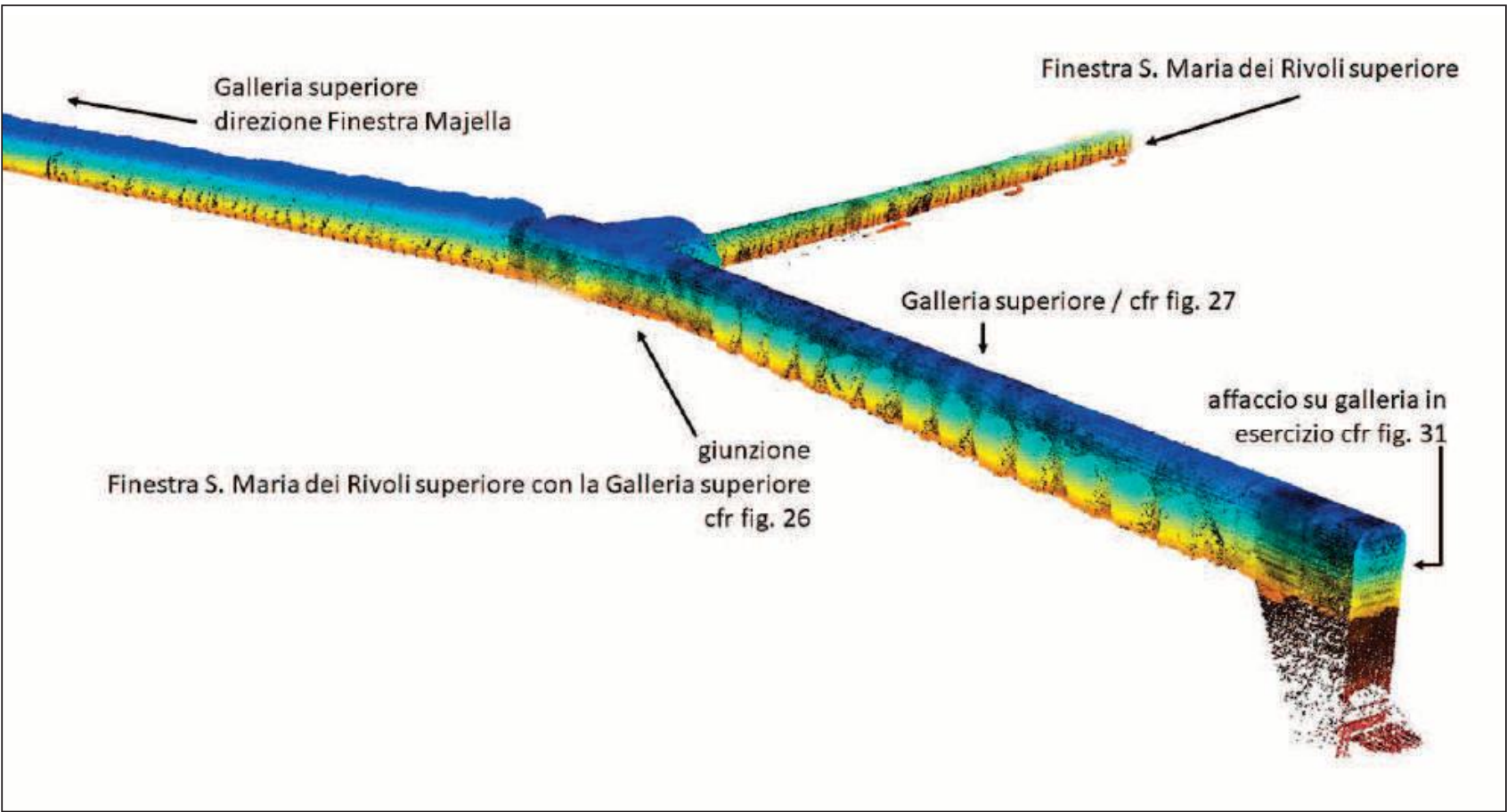


Fig. 28. “Galleria superiore”, rilievo 3d con laser scanner GeoSLAM ZEB HORIZON (rilievo ed elaborazione G. Rampa, P. Gioia e L. Di Cristofaro).
“Galleria superiore”, 3D laser scanner survey GeoSLAM ZEB HORIZON (survey and processing G. Rampa, P. Gioia and L. Di Cristofaro).



Fig. 29. Giunzione tra “Galleria Majella” e “Galleria Santa Maria dei Rivoli” (foto N. Paolantonio)
Junction between “Galleria Majella” and “Galleria Santa Maria dei Rivoli” (ph. N. Paolantonio).



Fig. 30. Galleria drenante “Santa Maria dei Rivoli” (foto N. Paolantonio).

“Santa Maria dei Rivoli” drainage tunnel (ph. N. Paolantonio).

platea della galleria. La galleria di cui trattasi ha inizio dal suo raccordo con la Galleria Majella, subito dopo la quale c'è una stazione di misurazione e una camera di manovra per le derivazioni in Bojano; termina, dopo un percorso lungo circa 1 km (fig. 30), alla successiva captazione del campo pozzi e camera di manovra della sorgente Pietrecadute. A metà tracciato, sulla destra, ad un'altezza di circa 9 m, in un grande ambiente di raccordo, si affaccia la parte terminale della Galleria superiore (figg. 31 e 28) alla quale, tuttavia, non vi è possibilità di accesso senza l'ausilio di dispositivi su corda.

7) Finestra Pietrecadute

È la finestra dalla quale si accede direttamente alle gallerie del campo pozzi, 14 dei quali sono attivi e 2 di sola ispezione. L'articolato insieme di gallerie, che si sviluppa a sinistra e a destra della galleria principale, misura complessivamente circa 412 m. Qui la sorgente Pietrecadute si trova nella zona in cui la cintura impermeabile del complesso argilloso-marnoso-arenaceo che tampona i calcari dell'edificio carbonatico, si presenta

nel punto più depresso. La sorgente è posta a una quota di 480 m slm (fig. 33), ossia circa 28 m al di sotto della parte più alta della galleria; per tale ragione l'acqua è captata mediante pozzi realizzati ad una quota superiore a quella di sfioro delle acque. L'acqua captata dalle pompe a immersione presenti sul fondo dei pozzi è utilizzata per integrare il rifornimento idrico dell'intera fornitura degli acquedotti Molisano Destro e Centrale e Acquedotto Campano. In fondo alla camera di manovra, dalla quale parte la galleria che prosegue verso le sorgenti Rio Freddo, si raccorda la Galleria Santa Maria dei Rivoli. Una piccola galleria si dirama invece e prosegue sulla destra per circa 30 m; qui la roccia non presenta alcun rivestimento. In questa più breve galleria, che appare abbandonata con ancora alcuni attrezzi di scavo, è presente un pozzo d'ispezione. Un secondo pozzo d'ispezione è presente nella camera di manovra. Dalla camera di manovra di Pietrecadute la galleria continua, in sezione chiusa e non percorribile, fino alle finestre di Rio Freddo B e A, senza incontrare prima alcuna altra struttura d'accesso ad esclusione dell'attraversamento del Fosso Abate.

8) Imbocco Fosso Abate

In corrispondenza del Fosso Abate, poche centinaia di metri oltre la località di Pietrecadute, la galleria è visibile in superficie limitatamente al ponte di attraversamento sul quale è posto il canale realizzato in sezioni chiuse rettangolari di cemento armato prefabbricato. Sulla destra idrografica del fosso, in corrispondenza dell'interramento della galleria è presente una porta che dà accesso ad un vano d'ispezione al quale, in occasione di questa indagine, non è stato possibile accedere.

9) Finestra Rio Freddo B

È un ambiente seminterrato, con uno sviluppo limitato a poche centinaia di metri quadrati, che ospita una camera di manovra; da questo ambiente ha inizio una galleria a fondo cieco di circa 60 m di lunghezza dalla quale, tramite una tubazione, è prelevata l'acqua della galleria principale che proviene da Pietrecadute e prosegue verso la Finestra Rio Freddo A. Dalla camera di manovra, nella quale vi sono un impianto di misurazione ed uno di clorazione, la tubazione conduce l'acqua all'esterno fino a un pozzetto di raccordo con le acque provenienti da Riofreddo A; da questo pozzetto le acque di entrambi i prelievi sono convogliate verso gli acquedotti Molisano Centrale e Molisano Destro.

10) Galleria Rio Freddo

È una galleria lunga circa 150 m che termina nella camera di manovra dalla quale si accede alla Galleria Rio Freddo, quella nella quale vengono drenate le acque. Anche la Finestra Rio Freddo A è occupata in



Fig. 31. Ambiente di giunzione tra la “Galleria Santa Maria dei Rivoli” e la “Galleria superiore” (foto N. Paolantonio).

Junction area between the “Santa Maria dei Rivoli Tunnel” and the “Upper Tunnel” (photo N. Paolantonio).

parte dalle condutture di presa (fig. 34) che, una volta clorate, conducono le acque all'esterno nel pozzetto di raccordo con le acque di Rio Freddo B da dove, entrambe miscelate, vengono convogliate negli acquedotti molisani.

11) Finestra Rio Freddo A

È lunga circa 400 m (fig. 19) fino al tampone terminale oltre il quale la galleria è in continuità con quella proveniente dalla sorgente Pietrecadute. Prima del fondo, sulla destra, è presente una diramazione (fig. 35), nella quale è intercettato un importante fronte acquifero, dalla quale è prelevata l'acqua dalla Finestra Rio Freddo B. Questa galleria è tra quelle più note al pubblico al quale, saltuariamente, è concessa la visita dall'ASR Molise Acque.

12) Finestra Fosso del Perito

È un ambiente seminterrato di poche decine di metri quadrati, costruito in posizione parallela alla galleria principale; ospita una stazione di misurazione idrometrica ed una camera di manovra dalla quale si aziona la paratoia di un deviatore atto a convogliare, tramite una canalizzazione sotterranea, le acque nel limitrofo



Fig. 32. Ingresso della galleria della “Finestra Santa Maria dei Rivoli” (foto N. Paolantonio).

Entrance to the “Finestra Santa Maria dei Rivoli” tunnel (ph. N. Paolantonio).

Fosso del Perito; operazione che può rendersi necessaria per attività di ispezione e di manutenzione nel tratto di galleria che prosegue fino alla Discenderia di Guardiaregia.



Fig. 33. Sorgente Pietrecadute (Bojano). Attività di monitoraggio geochimico delle acque da parte dell'INGV. (foto M. Mancini).
Pietrecadute spring (Bojano). Geochemical water monitoring activities by INGV. (ph. M. Mancini).



Fig. 34. Ingresso della galleria della "Finestra Rio Freddo A" (foto N. Paolantonio).

Entrance to the "Finestra Rio Freddo A" tunnel (ph. N. Paolantonio).

13) Discenderia di Guardiaregia

È l'unica discenderia dell'intero tracciato (fig. 36) che da Bojano arriva a Gioia Sannitica. È una galleria, lunga circa 250 metri, con una inclinazione negativa di circa 135°; vi si accede dalla località Santa Maria in agro di Guardiaregia ed è l'ultima stazione di ispezione della galleria principale prima dell'inizio della Galleria di Valico (fig. 37). Dalla Discenderia di Guardiaregia si accede ad un tratto nel quale la

galleria compie un cambio di direzione di circa 100° (verso dx) per raccordarsi alla sezione di attraversamento dell'intero Matese fino alla successiva Finestra di Cusano Mutri in provincia di Benevento. La struttura curva nella quale scorre l'acqua all'interno della finestra è realizzata interamente in cemento armato. Nella parte basale è installata una paratoia per la deviazione e lo svuotamento dell'acqua in galleria; nella parte superiore, ad un'altezza di circa 3,5 m, alla quale si può accedere esclusivamente con una scala (non presente sul posto), si accede ad un corridoio di ispezione dal quale non vi è struttura alcuna atta alla discesa in galleria, pertanto, nel caso in cui si volesse accedervi per attività ispettive o di indagini sarebbe necessario dotarsi di una scala di non meno di 4 m. Per comodità di trasporto, si consiglia la tipologia di scala telescopica in metallo.

14) Galleria di Valico

Con tale denominazione si identifica il tratto di galleria che dalla Discenderia di Guardiaregia giunge fino all'esito di Curti in Gioia Sannitica (BN). L'intero tracciato, intercettato solo dalla Finestra di Cusano Mutri (BN) (fig. 38), è lungo circa 13 km. In figura 39 è riportata la sezione del rivestimento della galleria di adduzione del suo intero tracciato. In questo tratto la galleria presenta una limitata pendenza che varia tra lo 0,3% e lo 0,5%; il suo percorso termina nella località di Curti di Gioia Sannitica ad una quota di circa 490 m slm dove,



Fig. 35. Galleria di giunzione delle “Finestre Rio Freddo A e B” (foto N. Paolantonio).

Junction tunnel of “Finestre Rio Freddo A e B” (ph. N. Paolantonio).

attraverso condotte forzate, è utilizzata, più a valle, per la produzione di energia elettrica prima di unirsi alle sorgenti del Torano e del Maretto captate a Piedimonte Matese (CE) alla quota di circa 200 m s.l.m. La Galleria di Valico fu così progettata al fine di mantenere la più alta quota utile allo sfruttamento di un salto maggiore fino alla centrale idroelettrica di Auduni (Gioia Sannitica / BN), oggi gestita dell’Agenzia Speciale Regionale Molise Acque la cui produzione di energia è utilizzata per la sostenibilità dei consumi energetici necessari al mantenimento in esercizio dell’intera struttura di approvvigionamento idrico degli acquedotti molisani. Nell’ambito delle indagini oggetto di questo contributo la Galleria di Valico è l’unica struttura che, per motivi strettamente sanitari, non è stato ancora possibile ispezionare; tale attività è stata, tuttavia, già programmata e sarà realizzata in un prossimo futuro, anche con l’intento di valutare lo stato di conservazione della galleria stessa, nel rispetto di un protocollo che garantisca la sicurezza



Fig. 36. “Discenderia di Guardiaregia” (foto R. Menichetti).
“Discenderia di Guardiaregia” (ph. R. Menichetti).



Fig. 37. Inizio della “Galleria di Valico del Matese” (foto M. Mancini).
Start of the “Galleria di Valico del Matese” (ph. M. Mancini).

degli operatori coinvolti e la non contaminazione/alte-
razione delle acque.

15) Finestra di Cusano Mutri
È una galleria lunga circa 215 m (fig. 40) al cui
termine è presente una camera di manovra ed una sta-



Fig. 38. “Galleria di Valico del Matese” a Cusano Mutri (BN) (foto N. Paolantonio).
“Galleria di Valico del Matese” at Cusano Mutri (BN) (ph. N. Paolantonio).

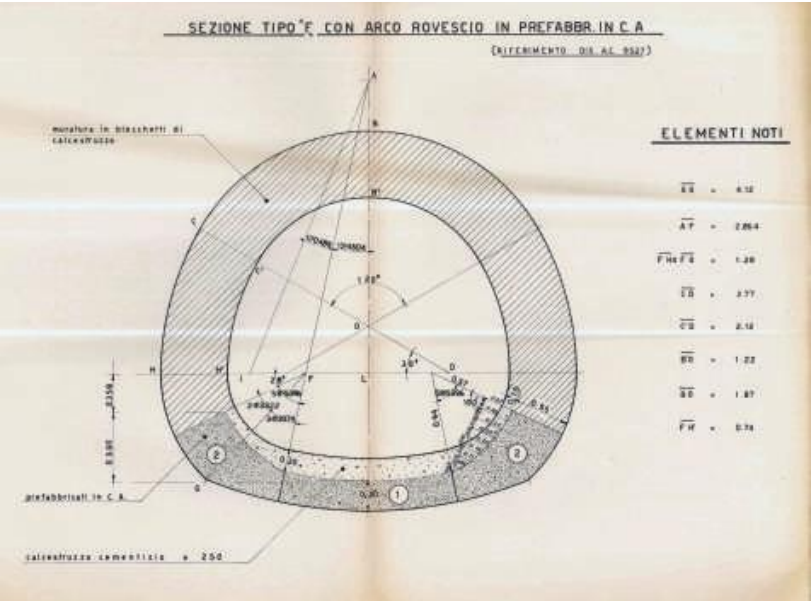


Fig. 39. Sezione della “Galleria di Valico del Matese” tratta dal progetto originale (Archivio ASR Molise Acque).
Section of the “Galleria di Valico del Matese” from the original project (ASR Molise Acque Archive).

zione di misurazione idrometrica. Molto simile alla Discenderia di Guardiaregia, questa di Cusano Mutri presenta una scala fissa in metallo dalla quale si accede

al piano superiore dov’è ubicata la camera di manovra dalla quale ci si affaccia sulla Galleria di Valico (fig. 38); in questa sezione è presente anche un laminatoio per eventuali piene le cui acque possono essere deviate verso l’esterno tramite una canalizzazione. Anche in questa finestra la Galleria di Valico percorre un tratto in curva di circa 100° prima di proseguire in direzione dell’esito di Curti (Gioia Sannitica). In occasione dello scavo di questo tratto di galleria, il 2° lotto dell’Acquedotto Campano realizzato dalla ditta Condotte, furono intercettati ulteriori condotti carsici le cui acque furono convogliate direttamente all’esterno dove raggiungono una stazione di pompaggio dalla quale sono fatte affluire in un serbatoio ubicato a monte dell’abitato di Cusano Mutri e di lì utilizzate.

16) Esito di Curti (Gioia Sannitica / CE)
È una struttura edificata a ridosso dell’affioramento roccioso nel quale ha termine ed esito la Galleria di Valico (fig. 41). Tale struttura ospita una camera di manovra ed una stazione di misurazione. La maggior parte delle acque, precipitano, attraverso una condotta forzata, verso la centrale idroelettrica di Auduni (Gioia Sannitica / BN). Un minore quantitativo è convogliato,



Fig. 40. Galleria della “Finestra di Cusano Mutri” (BN) (foto N. Paolantonio).

“Finestra di Cusano Mutri” (BN) tunnel (ph. N. Paolantonio).

invece, in una prima sezione dell’Acquedotto Campano che alimenta alcuni comuni della Provincia di Benevento.

CONCLUSIONI

Le consistenti risorse idropotabili di origine carsica, quelle notoriamente di maggiore qualità, delle quali è ricca la regione Molise, al pari di tutte le risorse idriche del pianeta, stanno subendo gli effetti e le ripercussioni degli stress idrici degli ultimi decenni. Quale conseguenza dei cambiamenti climatici, in particolare, l’assenza di precipitazioni nevose, e la relativa permanenza al suolo, nel periodo autunno/inverno 2023/2024, di quelle maggiormente attese per l’approvvigionamento delle falde, ha già determinato, per tale anno, un’apprezzabile diminuzione delle portate dell’intero fronte acquifero che, tra Bojano e San Polo Matese, alimenta le sorgenti del Biferno e, dunque, l’acquedotto di Bojano, gli acquedotti Molisano Centrale e Destro e l’Acquedotto Campano. Sebbene l’anomalia di un’annata idrologica possa e debba essere presa in considerazione in quanto tale, è pur vero che il trend climatico ed i suoi effetti negli ultimi decenni, in particolare quello riferibile alla quantità e concentrazione delle precipitazioni tutte (anche quelle nevose), è ampiamente noto non solo alla comunità scientifica (De Matteis e Nardelli, 2023). Tali condizioni globali, al momento, sfuggono al controllo così come, purtroppo, alle volontà di prenderne seriamente coscienza nelle dinamiche, nelle strategie e negli orientamenti geopolitici. Poiché possibile, appare ineluttabilmente necessario intervenire, invece, sulla gestione, sul contingentamento e, dunque, sulla sostenibilità delle risorse idriche tutte,



Fig. 41. Esito della “Galleria di Valico del Matese” presso Curti di Gioia Sannitica (BN) (foto N. Paolantonio).

Exit of “Galleria di Valico del Matese” at Curti di Gioia Sannitica (BN) (ph. N. Paolantonio).

soprattutto di quelle “poche” utilizzabili a scopo idropotabile. Nel complesso delle valutazioni effettuate nell’ambito dello studio oggetto di questo contributo, è possibile affermare che il sistema di gallerie di drenaggio, captazione e trasporto delle acque del Biferno, realizzate dalla Cassa per il Mezzogiorno negli anni ‘60 del Novecento, a distanza di oltre 60 anni, è ancora perfettamente in esercizio e “gode di buona salute”. Valutazioni altrettanto positive non possono essere fatte per le reti di distribuzione e per i consumi; l’ISTAT, infatti, in un recente report relativo al periodo 2020/2023 (ISTAT, 2024), ha segnalato che l’Italia è il Paese in Europa con il maggiore consumo di acque sotterranee, è tra i paesi con la maggiore distribuzione pro capite e presenta ancora valori troppo elevati di dispersione idrica nelle reti di distribuzione pari, in media, a circa il 42,4%, con picchi del 71% in Basilicata. In tale quadro, la Regione Molise si attesta su valori pari a circa il 55% di perdite ed un consumo di poco superiore ai 200 lt pro capite. Pertanto, se nel 2024 è ancora drammaticamente evidente il rapporto tra maggiore disponibilità, maggiore consumo e maggiore dispersione, è altrettanto vero che tale rapporto, non solo non è più sostenibile (in realtà, eticamente, non avrebbe dovuto esserlo mai), ma è altrettanto vero che è necessario e improrogabile immaginare, studiare, progettare e realizzare, al netto del deflusso minimo vitale, opere di ricarica artificiale volte a gestire in maniera ottimale gli eccessi idrici che si registrano nei periodi di minor domanda come, ad esempio, pozzi di re-iniezione e trincee drenanti. Così come tutte le cave abbandonate nel conoide di deiezione di Campochiaro (CB), ad esempio, se opportunamente impermeabilizzate, potrebbero ospitare importanti serbatoi di stoccaggio di preziosa risorsa idrica da utilizzare



Fig. 42. Fase di installazione della centralina di monitoraggio della CO₂ dell'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria del CNR (foto M. Mancini).

Installation phase of the CO₂ monitoring unit of the CNR Institute of Environmental Geology and Geoengineering (ph. M. Mancini).

anche in occasione delle frequenti emergenze antincendio. Non meno rilevanti e, per certi aspetti, persino di maggiore importanza, sono anche tutti gli interventi necessari alla tutela dell'intera area carsica, così come dei minori bacini di alimentazione delle singole strutture idrologiche dalle quali scaturiscono le principali e più strategiche sorgenti di acque sotterranee; tale preoccupazione è da tempo all'attenzione di paesi notoriamente più sensibili alla tematica (UFAFP, 2004) ad al suo approccio sostenibile (Nazioni Unite, 2022). Tali interventi, per il massiccio del Matese sarebbero, oltretutto, di facile attuazione con la definitiva istituzione del Parco Nazionale del Matese e del Geoparco Globale UNESCO (GGN). Quale ulteriore elemento di valorizzazione delle strutture oggetto del presente studio, fatte salve le misure e gli interventi di protezione delle sottostanti gallerie in esercizio, quelle di drenaggio, captazione e trasporto delle acque, se opportunamente gestite nel rispetto della prioritaria tutela delle risorse idriche, le gallerie che oggi non sono in esercizio, potrebbero invece essere utilizzate per differenti finalità, soprattutto quale strumento di mitigazione per affrontare gli effetti e le conseguenze dei cambiamenti climatici. Tali gallerie potrebbero rivelarsi utili, ad esempio, per la stagionatura e la conservazione di alimenti; per la strutturazione di un centro climatico speleoterapico per la prevenzione e la cura di patologie alla vie respiratorie; per l'ubicazione ideale di un polo museale sulle scienze della terra; quale luogo per lo svolgimento di eventi culturali; ma anche quale naturale fonte geotermica di aria a basse temperature (Rybach, 2012) da immettere in una, neanche troppo avveniristica,

rete di distribuzione civile nella città di Bojano; una volta recuperate con destinazioni d'uso che ne prevedano la fruibilità, potrebbero essere utilizzate anche quale luogo di socializzazione, nei sempre più frequenti periodi di caldo eccessivo, per le persone più fragili e maggiormente esposte ai rischi delle alte temperature. Siamo certi del fatto che quando le condizioni climatiche esterne raggiungeranno limiti estremi, alcune delle soluzioni proposte saranno prese in seria considerazione, così come alcuni casi studio sono già oggetto di attenzione da parte della comunità scientifica (AA.VV., 2020). Determinati settori dell'intero sistema di gallerie, laddove non rivestite, consentono, inoltre, l'intercettazione di faglie di diverse dimensioni, alcune delle quali anche piuttosto ampie. Tali strutture potrebbero diventare, altresì, siti d'elezione per lo studio di parametri geofisici del sottosuolo, alcuni dei quali notoriamente in relazione con le sorgenti sismogenetiche. Negli ultimi decenni, infatti, numerose ricerche hanno messo in relazione le variazioni nelle proprietà chimico-fisiche delle acque sotterranee con l'accadimento di forti terremoti. Tali relazioni includono variazioni della temperatura, della conducibilità elettrica, della concentrazione degli elementi maggiori e in traccia, della concentrazione di gas disciolti e del contenuto isotopico (Wang and Manga, 2021). A partire dal terremoto che colpì L'Aquila nell'aprile del 2009, un rinnovato vigore scientifico ha portato in Italia numerosi gruppi di ricercatori ad eseguire monitoraggi idrogeologici e idrogeochimici di tipo qualitativo e quantitativo in diverse aree appenniniche. Il monitoraggio, in continuo e discreto a lungo termine, delle acque sotterranee

ha prodotto diverse osservazioni permettendo di individuare un potenziale nesso tra la risalita di fluidi dalle profondità basso crostali e l'accadimento di forti terremoti (Chiadini *et al.*, 2000; Barberio *et al.*, 2017; Boschetti *et al.*, 2019; Barbieri *et al.*, 2020). A partire dal 2017 anche l'acquifero carbonatico del Matese è stato interessato da un monitoraggio a lungo termine sia continuo sia discreto con periodicità mensile. In particolare, le sorgenti interessate da tale monitoraggio sono quelle relative al deflusso idrico sotterraneo che caratterizza il gruppo delle sorgenti del Grassano e quelle che alimentano il fronte sorgivo del Biferno. I risultati del monitoraggio pubblicati (Barberio *et al.*, 2020; Gori e Barberio, 2022) mettono in luce una potenziale correlazione tra la sismicità che si sviluppa nella regione e la chimica delle acque sotterranee. In particolare, alcuni autori (Barberio *et al.*, 2020) riportano i risultati del monitoraggio del Radon disciolto nelle acque della sorgente di Rio Freddo in relazione ai terremoti verificatesi. Lo studio evidenzia delle potenziali variazioni nella concentrazione del gas disciolto prima dell'accadimento di alcuni terremoti avvenuti entro un raggio di potenziale influenza (Dobrovolsky *et al.*, 1979). Gori e Barberio (2022) focalizzano, invece, il loro monitoraggio sul gruppo delle sorgenti del Grassano mettendo in luce variazioni nelle proprietà chimico-fisiche (conducibilità elettrica e pH), nelle concentrazioni di alcuni ioni maggiori e nella concentrazione di CO₂ prima e durante la sequenza sismica di San Leucio del Sannio di novembre 2019. Inoltre, un recente studio (Pintori *et al.*, 2023), incentrato sull'osservazione delle deformazioni rilevabili tramite la rete geodetica, ha messo in luce quanto, a scala regionale, l'acquifero del Matese si deformi in base ai tassi di ricarica ed esaurimento delle sorgenti poste sul fronte del Biferno. L'area in esame, nota non solo alla comunità scientifica per essere estremamente sismogenetica, è divenuta oggetto di studio da parte dell'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria di Roma del Consiglio Nazionale delle Ricerche (fig. 42) e della sede di Roma dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, istituti che hanno già installato una stazione multiparametrica di misurazione di Radon e di CO₂. Anche tale utilizzo, pertanto, quale stazione sperimentale di ricerca, su questo ed altri temi di studio del sottosuolo, compatibilmente con l'esercizio funzionale primario, può essere un efficace impiego dell'intera rete di gallerie.

RINGRAZIAMENTI

Le attività di ricerca tutte, svolte in diversi anni negli archivi, nelle biblioteche, in campo e attraverso frequenti confronti (fig. 43), sono state possibili grazie anche a



Fig. 43. “Racconti e memorie” (foto N. Paolantonio).
“Tales and memories” (ph. N. Paolantonio).

numerose collaborazioni del cui privilegio siamo grati soprattutto al Direttore dell'Agenzia Speciale Regionale “Molise Acque”, Ing. Salvatore Lenza, ai Presidenti Dott.ri Piero Neri e Stefano Sabatini, al Dirigente dei Servizi Tecnici Ing. Carlo Tatti ed ai loro collaboratori: Alessandro Fiorucci, Antonio Di Paolo, Mauro Patullo e Andrea Palladino i quali hanno frequentemente accompagnato i nostri sopralluoghi. Siamo grati, inoltre, al personale tutto dello Staff Tecnico-Amministrativo Impianti e Reti del ciclo integrato delle acque di rilevanza regionale della Regione Campania, Ing. Rosario Manzi, Geometra Vincenzo Trinchillo, Dott. Francesco Capolongo, Sig. Roberto Di Fruscio. Siamo, altresì, grati agli amici Silvio Prezioso e Lucio Lucarelli per aver messo a disposizione i loro preziosi archivi personali, così come siamo grati all'amico fotografo e speleologo Nicola Paolantonio per la documentazione fotografica che ha voluto realizzare anche per questo progetto di studio. Un particolare e sincero ringraziamento va anche al collega Giovanni Cirelli del servizio di *Document Delivery* dell'Università degli Studi del Molise che, sempre molto pazientemente, ha “esaudito” ogni nostro desiderata. Siamo oltremodo grati ai Sig. Francesco Scasserra, di Piedimonte Matese, Michele Spina e Salvatore Capra di Bojano, già operatori e tecnici degli enti gestori delle rispettive gallerie del Biferno (campane e molisane), per la disponibilità e la straordinaria memoria con la quale hanno “appagato” ogni nostra curiosità sulla storia della costruzione e della gestione dell'intero sistema di gallerie. Rivolghiamo la nostra gratitudine anche all'amico Gianni Marro, Assessore ai Lavori Pubblici del Comune di Bojano, per averci guidato nelle indagini su tutte le sorgenti svolte nel centro abitato della cittadina matesina. Siamo grati, infine, a Giovanni Rampa, Luca Di Cristofaro ed alla R.T.A. Group srl, (Rilievi Topografici e Aerofotogram-

metrici) per la collaborazione nelle attività di rilievo ed agli amici speleologi tutti dell'Associazione Speleologi Molisani la cui presenza ha consentito sempre l'esplorazione in sicurezza delle gallerie più impegnative.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., 1906, Fiume Biferno, in Carta Idrografica d'Italia, Corsi d'Acqua dell'Appennino Meridionale e dell'Antiappennino Adriatico a sud del Sele e del Sangro, Ministero dell'Agricoltura, Industria e Commercio, pp. 442-456, Tipografia Nazionale di G. Bertero e C., Roma.
- AA.VV., 1914, Studi e proposte per opere d'irrigazione in Italia, in *Giornale del Genio Civile. Rivista dei lavori pubblici*, Anno LI, 1914, pp.61-80.
- AA.VV., 1922, Sfruttamento del Fiume Biferno, Amministrazione Provinciale del Molise, 100 pp., Roma.
- AA.VV., 1924, Annali delle utilizzazioni idrauliche, Vol.1, Fasc. 1, 1924, Tipografia del Senato.
- AA.VV., 1937, Fiume Biferno: domande dell'Amministrazione Provinciale di Campobasso, Amministrazione della Provincia di Campobasso, 29 pp., Società Tipografica Molisana F.lli Petrucciani, Campobasso.
- AA.VV., 1952, Le grandi opere in corso di esecuzione. Acquedotto Campano, in *Notiziario della Cassa per il Mezzogiorno*, Anno I, Num. I, 1953, pp. 36-37.
- AA.VV., 1953, Acquedotti. Progetti approvati nel mese di Aprile 1953, in *Notiziario della Cassa per il Mezzogiorno* 1953, Anno II, Gennaio-Dicembre 1953, 425 pp.
- AA.VV., 1955, Gli acquedotti e le fognature (Gli acquedotti dell'Abruzzo e Molise e Gli acquedotti della Campania), in *La Cassa per Mezzogiorno, Primo quinquennio 1950-1955*, pp. 249-272 e pp. 287-308, Stamperia d'Arte dell'Istituto Poligrafico dello Stato, Roma.
- AA.VV., 1959, In difesa del Fiume Biferno, Amministrazione Provinciale di Campobasso, 70 pp., con Appendice a cura di A. De Sanctis, Tipografia Morrone, Larino.
- AA.VV., 1962a, Cassa per il Mezzogiorno. Dodici anni 1950-1962. Quaderno n. 3, Acquedotti e Fognature, Parte Seconda, 659 pp., Editori Laterza, Bari.
- AA.VV., 1962b, Relazione al progetto di massima della Galleria di Valico del Matese, Cassa per opere straordinarie di pubblico interesse nell'Italia meridionale, Cassa per il Mezzogiorno, 48 pp., Arti Grafiche T. Pappagallo & F.lli, Roma.
- AA.VV., 1976, Utilizzazione intersettoriale delle acque del Biferno nella Regione Molise: rapporto sullo stato di attuazione alla data del 2 maggio 1976 e sulle prospettive del progetto speciale, Cassa per il Mezzogiorno, Direzione Generale Progetti Speciali, Roma.
- AA.VV., 1979, Recent tunnelling experiences in Italy, in *International Society for Rock Mechanics, Proceedings 4. Congress of the International Society for Rock Mechanics: Montreux (Suisse) 2-8 sept. 1979*, Vol. 1, pp. 809-826.
- AA.VV., 1983, Idrogeologia dell'Italia centro-meridionale, in *Progetto speciali per gli schemi idrici del Mezzogiorno*, Quaderni della Cassa per il Mezzogiorno, n.4/2, 225 pp., Stampa Grafiche Magliana, Roma.
- AA.VV., 1987, Sezione I Civile: Sentenza 13 febbraio 1987, n. 1556, in *Il Foro Italiano*, luglio-agosto 1987, Vol. 110, No. 7/8, pp. 2153-2160.
- AA.VV., 1991, Il Matese. Nuove prospettive di sviluppo culturale ed economico, Atti del Convegno di Bojano, 25-26 maggio 1991, 215 pp., Arti Grafiche Grillo, Piedimonte Matese (CE).
- AA.VV., 2003, Piano d'Ambito A.T.O. N 2 Napoli-Volturno 2003 Allegato B - Piani finanziari delle opere degli impianti di acquedotto e fognatura nel mezzogiorno d'Italia. Geologia Idrogeologia e vulnerabilità della risorsa SOGESID.
- AA.VV., 2010, Caratterizzazione Geologia e Idrogeologica. Identificazione degli Acquiferi (All. 3), in Piano di Gestione (Dir. Com. 2000/60/CE, D.L.vo 152/06, L. 13/09), Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale, 93 pp.,
- AA.VV., 2020, Linee guida per la gestione sostenibile delle venute d'acqua e del calore geotermico nelle gallerie. Associazione Acque Sotterranee, Comitato Italiano dell'Associazione Internazionale degli Idrogeologi (IAH), Gruppo di Lavoro GESTAG (a cura di Cerutti P.), Allegato a Acque Sotterranee, *Italian Journal of Groundwater* (2020), AS35 – 486, 79 pp., Editrice Acque Sotterranee.
- ARREDI F., MEDICI G., 1948, Affinché il Molise possa vivere del suo Biferno, Amministrazione Provinciale di Campobasso, pp. 7-49, SOC. A.BE.T.E., Roma.
- BARBERIO M. D., BARBIERI M., BILLI A., DOGLIONI C., PETITTA M., 2017, Hydrogeochemical changes before and during the 2016 Amatrice-Norcia seismic sequence (central Italy). *Scientific Reports*, 7(1), 11735.
- BARBERIO M. D., GORI F., BARBIERI M., BILLI A., CASALATI F., FRANCHINI S., LORENZETTI L., PETITTA M., 2020, Optimization of dissolved Radon monitoring in groundwater to contribute to the evaluation of the seismic activity: an experience in central-southern Italy. *SN Applied Sciences*, 2, pp. 1-12.
- BARBIERI M., BOSCHETTI T., BARBERIO M. D., BILLI A., FRANCHINI S., IACUMIN P., SELMO E., PETITTA M., 2020, Tracing deep fluid source contribution to groundwater in an active seismic area (central Italy): A combined geothermometric and isotopic ($\delta^{13}\text{C}$) perspective. *Journal of hydrology*, 582, 124495.
- BARBIERI M., BARBERIO M. D., BANZATO F., BILLI A., BOSCHETTI T., FRANCHINI S., PETITTA M., (2023). Climate change and its effect on groundwater quality. *Environmental Geochemistry and Health*, 45(4), 1133-1144.
- BARAZZUOLI P., PIZZUTO D., RIGATI R., 1994, Valutazione delle risorse idriche dell'alto bacino del F. Biferno (Molise): un esempio di utilizzo del deflusso su basi fisiografiche, in *Bollettino della Società Geologica Italiana*, vol. 113 (1994), pp. 709-728.
- BASTIANINI F., 1960, La guerra della sete, in *Domenica del Corriere*, A. LXII, n. 37, 11 settembre 1960, p. 7.
- BATTISTA G., MANCINI M., 1998, L'acquedotto ipogeo romano di Monteroduni, *Speleologia*, n. 38, settembre 1998, pp. 61-64.
- BONCIO P., DICHIARANTE A. M., AUCIELLO E., SAROLI M., STOPPA F., 2016, Normal faulting along the western side of the Matese Mountains: Implications for active tectonics in the Central Apennines (Italy). *Journal of Structural Geology*, 82, pp. 16-36.
- BONCIO P., AUCIELLO E., AMATO V., AUCELLI P., PETROSINO P., TANGARI A. C., JICHA B. R., 2022, Late Quaternary faulting in the southern Matese (Italy): implications for earthquake potential and slip rate variability in the southern Apennines, *Solid Earth*, vol. 13, pp. 553-582, <https://doi.org/10.5194/se-13-553-2022>.

- BOSCHETTI T., BARBIERI M., BARBERIO M. D., BILLI A., FRANCHINI S., PETITTA M., 2019, CO₂ inflow and elements desorption prior to a seismic sequence, Amatrice-Norcia 2016, Italy. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20(5), pp. 2303-2317.
- BREISLAK S., 1798, *Topografia fisica della Campania*, 368 pp., Brazzini, Firenze.
- CAIAZZA D., 1997, L'acquedotto ipogeo e altre antichità di Faicchio. Gruppo Speleologico del Matese, 37 pp.
- CAMERA DEI DEPUTATI, 1949, Stato di previsione della spesa del Ministero dei lavori pubblici per l'esercizio finanziario dal 1° luglio 1949 al 30 giugno 1950 (378). Seguito della discussione del disegno di legge, in *Atti Parlamentari, Camera dei Deputati, Discussioni*, 305^a Seduta di Lunedì 3 Ottobre 1949, pp. 11516-11566, Tipografia della Camera dei Deputati.
- CAMERA DEI DEPUTATI, 1958, in *Atti Parlamentari, Camera dei Deputati, III Legislatura, Discussioni Sedute del 28 e del 31 ottobre 1958*.
- CAMERA DEI DEPUTATI, 1965, Disciplina degli interventi per lo sviluppo del Mezzogiorno, in *Atti Parlamentari, Camera dei Deputati, IV Legislatura, Discussioni*, 13 Maggio 1965, pp. 15240-15241, Tipografia della Camera dei Deputati, Roma.
- CAPASSO L., 2007, *Pietraraja. Pietre e memorie*, 180 pp., Paper's World, Teramo.
- CAPPARELLI A., 1970, *Matese. Vocazioni e prospettive*, 83 pp., Edagricole, Calderini, Bologna.
- CARACCILO G. G., 2018, *L'Oro Blu del Matese. Gli acquedotti Campano e Molisano Destro*, Edizioni Associazione Storica del Medio Volturno, 400 pp., Tipografia Bandista, Piedimonte Matese (CE).
- CASALE M., CELICO F., CIRILLO R., ESPOSITO L., HABETSWALLNER F., 1996, Aree di salvaguardia e vincoli territoriali nei principali acquiferi carbonatici del bacino del Fiume Volturno (Italia meridionale), estratto da *Geologia Tecnica e ambientale*, n. 3 Luglio-Settembre 1996, 28 pp.
- CASSA PER IL MEZZOGIORNO, 1966, *Galleria di valico del Matese 1° lotto esecutivo*, Impresa Ing. A. & P., Di Penta, 15 pp., Roma.
- CASTAGNOLI C. S., 2014, La problematica progettazione della galleria di Valico del Matese, in *Atlante Tematico delle Acque del Molise* (a cura di Castagnoli C. S.), pp. 145-148, Arti Grafiche la Regione Editrice, Ripalimosani (CB).
- CELENTANI UNGARO P., 1958, Acquedotto sottomarino per le isole di Procida ed Ischia, Cassa per le opera straordinarie di pubblico interesse nell'Italia meridionale (Cassa per il Mezzogiorno), Documento n. 3, 52 pp., Labor, Roma.
- CELICO P., 1978, Schema Idrogeologico dell'Appennino carbonatico centro-meridionale, *Memorie e Note dell'Istituto di Geologia Applicata*, n. 14, pp. 1-97, Napoli.
- CELICO P., 1979, Considerazioni sull'idrogeologia di alcune zone dell'Italia centro-meridionale alla luce dei risultati di recenti indagini geognostiche, *Istituto di Geologia Applicata dell'Università di Napoli, Cassa per il Mezzogiorno (Ripartizione Progetti Speciali, Div. IV)*, 43 pp.
- CELICO P., 1983, Le risorse idriche sotterranee dell'Appennino carbonatico centro-meridionale, estratto da *Idrotecnica*, n. 1, gennaio - febbraio 1983, 17 pp.
- CELICO F., PETRELLA E., CELICO P., 2006, Hydrogeological behaviour of some fault zones in a carbonate aquifer of Southern Italy: an experimentally based model, in *Terra Nova*, Vol. 18, n. 5, pp. 308-313, doi: 10.1111/j.1365-3121.2006.00694.x
- CELICO F., PETRELLA E., 2008, Evoluzione delle conoscenze idrogeologiche del settore nord-occidentale del massiccio carbonatico del Matese - nota preliminare, *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, vol. LXXVII (2008), pp. 177-182.
- CHIODINI G., FRONDI F., CARDELLINI C., PARELLO F. PERUZZI L., 2000, Rate of diffuse carbon dioxide Earth degassing estimated from carbon balance of regional aquifers: The case of central Apennine, Italy. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B4), 8423-8434.
- CIVITA M., 1969, Valutazione analitica delle riserve in acque sotterranee alimentanti alcune tra le principali sorgenti del massiccio del Matese (Italia meridionale), in *Memorie della Società dei Naturalisti in Napoli*, Vol. I, Parte Prima, Suppl. al Vol. LXXVIII (1969) del *Bollettino della Società dei Naturalisti in Napoli*, pp. 133-163, Stabilimento Tipografico Genovese, Napoli.
- CIVITA M., 1973b, L'infiltrazione potenziale media annua nel massiccio carbonatico del Matese (Italia meridionale), *I.A.H.*, Palermo, pp. 129-142.
- COLAMONICO C., 1928, *Matese*, estratto da *Le Vie d'Italia*, A. XXXIV, Fasc. luglio 1928, 12 pp.
- COLONNA F., 1616, De glossopetris dissertatio, in *Fabii Columnae Lyncei Purpura, hoc est, De purpura ab animalibus testaceis fusa: de hoc ipso animalibus, alijsque rarioribus testaceis quibusdam ... Cum iconibus ex aere ad viuum representatis, elencho rerum et indice*, pp. 31-42, Roma.
- CONSIGLIO G., 2006, Umberto Messina e la Cassa per il Mezzogiorno, in *L'Acqua* n. 5, 2006, pp. 82-84.
- CORNIELLO A., DUCCI D., IACCARINO G., 1988, Idrogeologia del settore NW del Matese, in *Memorie della Società Geologica Italiana*, vol. 41 (1988), pp. 1039-1051.
- CORNIELLO A., DUCCI D., GUARINO P.M., 1999, I rilievi carbonatici del Matese occidentale e la piana di Venafro: idrogeologia e idrogeochimica, in *Bollettino della Società Geologica Italiana*, Vol. 118 (1999), pp. 523-535.
- COSTA O.G., 1865, Studi sopra i terreni ad Ittioliti delle Provincie napolitane diretti a stabilire l'età geologica de' medesimi. Parte II: Calcarea stratosia di Pietraraja. *Atti dell'Accademia delle Scienze Fisiche e Matematiche di Napoli*, s. 2, n. 2 (16), pp. 1-33.
- DAINELLI G., 1925, Attorno al Matese, in *Le Vie d'Italia*, 1925, pp. 917-925.
- DAINELLI G., 1930, Guida all'escursione al Matese compilata da Giotto Dainelli, 29 aprile 1930 - VIII, estratto dal Vol. IV degli *Atti del XI Congresso Geografico Italiano*, 76 pp., Napoli.
- DAL PIAZ G., MARZOLO F., SEMENZA C., 1956, Utilizzazione del Fiume Biferno. Relazione Preliminare di consulenza, Amministrazione Provinciale di Campobasso, 15 Ottobre 1956, 24 pp., Campobasso.
- DAL SASSO C., SIGNORE M., 1998, Exceptional soft-tissue preservation in a theropod dinosaur from Italy, *Nature*, 392, pp. 383-387.
- DE MATTEIS M., NARDELLI M., 2023, *Inverno liquido*, 256 pp., DeriveApprodi, Roma, ISBN 9788865484463.
- DE RENSIS N., 1900, *Le Sorgenti di Riofreddo del Comune di San Polo Matese e la Società Elettrica di Illuminazione Fazio e C.*, 36 pp., Tipografia Colitti e Figlio, Campobasso.
- DE SANCTIS A., 1959, L'utilizzazione generale del Fiume Biferno a favore del Molise secondo il progetto presentato dalla Amministrazione Provinciale di Campobasso a corredo della domanda di concessione delle acque.

- DE VINCENTIIS G., 1892, Sui progetti per fornire d'acqua le Puglie, in *Annali della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani*, Anno VII, 1892, Fasc. I, Parte II, 29 Febbraio 1892, pp. 26-50.
- DI BUCCI D., NASO G., CORRADO S., VILLA I.M., 2005, Growth, interaction and seismogenic potential of coupled active normal faults (Isernia Basin, Central-Southern Italy). *Terra Nova*, vol. 17, pp. 44-55.
- DI COCCO E., 1960, Le acque del Biferno (Lettere al direttore), in *Nord e Sud*. Rivista mensile diretta da Francesco Campagna, Aprile 1960, n. 3, p. 110.
- DOBROVOLSKY I.P., ZUBKOV S.I., MIACHKIN V.I., 1979, Estimation of the size of earthquake preparation zones. *Pure Appl Geophys* 117(5), pp. 1025-1044.
- ESPOSITO A., GALVANI A., SEPE V., ATZORI S., BRANDI G., CUBELLIS E., DE MARTINO P., DOLCE M., MASSICCI A., OBRIZZO F., RIGUZZI F., TAMMARO U., 2020, Concurrent deformation processes in the Matese massif area (Central-Southern Apennines, Italy). *Tectonophysics*, 774, 228234.
- FERRARINI F., BONCIO P., DE NARDIS R., PAPPONE G., CESARANO M., AUCELLI P.P., LAVECCHIA G., 2017, Segmentation pattern and structural complexities in seismogenic extensional settings: The North Matese Fault System (Central Italy). *Journal of Structural Geology*, 95, 93-112.
- FESTA A., GHISSETTI F., VEZZALI L., 2006, Carta Geologica del Molise e Note Illustrative, Scala 1:100.000, Regione Molise, 87 pp.
- FIGLIORE I., 1967, Le sorgenti del Biferno, in *L'italiano di Ponte Cayumba*, pp. 230-246, Vallecchi Editore, Firenze.
- FIORILLO F., PAGNOZZI M., 2015, Recharge processes of Matese karst massif (southern Italy), *Environmental Earth Science*, n. 74, pp. 7557-7570, doi 10.1007/s12665-015-4678-y.
- FORMICA C., 1965, L'utilizzazione delle acque nel Matese, Atti del XIX Congresso Geografico Italiano, Como (Villa Olmo), 18-23 maggio 1964, vol. III, Comunicazioni, pp. 363-372, Editrice Nosedà, Como.
- GALLI P., GALADINI F., 2003, Disruptive earthquakes revealed by faulted archaeological relics in Samnium (Molise, southern Italy). *Geophysical Research Letters*, 30(5).
- GALLI P., NASO J.A., 2009, Unmasking the 1349 earthquake source (southern Italy): paleoseismological and archaeoseismological indications from the *Aquae Iuliae* fault, *Journal of Structural Geology*, vol. 31, pp. 128-149, <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2008.09.007>
- GAZZETTA UFFICIALE, 1967, Ordinanza emessa l'11 maggio 1967 dal Tribunale di Campobasso nel procedimento civile vertente tra Capra Antonio, Teresa, Generosa e Guerino e la Cassa per il Mezzogiorno e il Prefetto di Campobasso. (Reg. ord. n. 117, 1967). *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, Anno 108, Num. 177, Parte Prima, Sabato 15 luglio 1967, pp. 3921-3922.
- GIRAULT Y. (a cura di), 2009, UNESCO Global Geoparks. Tension Between Territorial Development and Heritage Enhancement, 288 pp., Wiley-ISTE.
- GORI F., BARBERIO M. D., 2022, Hydrogeochemical changes before and during the 2019 Benevento seismic swarm in central-southern Italy. *Journal of Hydrology*, 604, 127250.
- GORTANI M., 1961, Il Matese e le acque del Molise, estratto da *Natura e Montagna*, s. 2, A. I, n. 3, settembre 1961, 18 pp.
- GUIDOBONI E., FERRARI G., MARIOTTI D., COMASTRI A., TARABUSI G., VALENSISE G., 2007, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 BC-1997) and Mediterranean Area (760 BC-1500).
- GUTTMAN N. B., 1999, Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm. *J. Amer. Water Resour. Assoc.*, 35 (2), pp. 311-322.
- HAYES M., SVOBODA M., WALL N., WIDHALM., 2011, The Lincoln Declaration on drought indices. *Universal Meteorological Drought Index Recommended*, in *Bulletin of American Meteorological Society*, Vol. 92, Fasc. 4, pp. 485-488, DOI <https://doi.org/10.1175/2010BAMS3103.1>
- IPPOLITO G., VIPARELLI C., 1960a, L'acquedotto campano e l'utilizzazione delle acque del Biferno, Istituto di Idraulica e Costruzioni Idrauliche della Università di Napoli, Memoria n. 135, 40 pp.
- IPPOLITO G., VIPARELLI C., 1960b, L'acquedotto campano e l'utilizzazione delle acque del Biferno, in *Rassegna Tecnica, Periodico Mensile dell'Associazione Nazionale Ingegneri e Architetti (ANIAI)*, Sodalizio di Napoli, A. IX, n. 3, Marzo 1960, pp. 7-12.
- ISTAT, 2024, Le statistiche ISTAT sull'acqua. Anni 2020-2023, in *Statistiche Report*, 20 pp.
- LANGELLA V., 1964, Il Matese, in *Pubblicazioni dell'Istituto di Geografia dell'Università di Roma*, N.S., N. 11, 133 pp., Roma.
- LEONE G., CATANI V., PAGNOZZI M., GINOLFI M., TESTA G., ESPOSITO L., FIORILLO F., 2023, Hydrological features of Matese Karst Massif, focused on endorheic areas, dolines and hydroelectric exploitation. *Journal of Maps*, 19(1), 2144497.
- MAGLIETTA M., 1939, La migliore utilizzazione dell'acqua delle sorgenti del fiume Biferno per il Molise ed il Foggiano, *L'Acqua*, n. XVII, giugno 1939, pp. 184-193.
- MANCINI M., 2017, La prima esplorazione speleologica in Campania e altre pagine poco note della storia della speleologia nei Monti del Matese, in *Appendice agli Atti del III Convegno Regionale di Speleologia "Campania Speleologica"*, 2-4 giugno 2017, Napoli, 26 pp., ISBN 978-88-89897-16-4.
- MANFREDINI A., 1958, Studio geofisico di una galleria per l'acquedotto campano (Appennino meridionale), *Bollettino del Servizio Geologico d'Italia*, vol. LXXIX, fasc. 1-2, pp. 521-522.
- MANISCALCO A., PASQUINI G., 1963, Note sull'idrologia e il carsismo nel Matese meridionale, *Bollettino della Società Geografica Italiana*, s. 9, vol. 4, pp. 579-593.
- MARROCCO R., 1940, Il Matese, 144 pp., Editrice Rispoli Anonima, Napoli.
- McKEE T.B., DOESKEN N. J., KLIEST J., 1993, The relationship of drought frequency and duration to time scales, in *Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology*, 17-22 January, Anaheim, CA. American Meteorological Society, Boston, MA. 179-184.
- MECCHIA G., PIRO M., 2007, L'attività dello Speleo Club Roma in Campania (1959-2006), in *Atti del Convegno Regionale di Speleologia "Campania Speleologica"*, Oliveto Citra 1-3 giugno 2007, pp. 189-199.
- MESSINA U., 1954, Acquedotti Campani e Molisani. Relazione al Convegno dell'Associazione Idrotecnica Italiana su "Manutenzione ed esercizio degli Acquedotti", in *L'Acqua*, Anno XXXII, Fasc. 1 e 2, 1954, pp. 15-19.
- MESSINA U., 1955, Il sistema dell'Acquedotto Campano per l'alimentazione di 157 Comuni, in *Ingegneria Sanitaria*, n. 4, 1955, pp. 121-126.
- MESSINA U., 1959, L'Acquedotto Campano, in *Ingegneria Sanitaria*, n. 3, 1959, pp. 74-89.

- MESSINA U., Galanti Novi Lena E., Cutino M., 1962, Gli acquedotti della Campania e del Molise, in *Acquedotti e Fognature*, Parte Prima, pp. 387-515, Editori Laterza, Bari.
- MESSINA U., 1966, L'adduzione delle sorgenti del Biferno all'acquedotto campano attraverso l'Appennino, *L'Acqua*, fasc. 4, 1966, pp. 109-126.
- MESSINA U., 1978, Acquedotto, in *Enciclopedia Italiana di Scienze, Lettere ed Arti 1961/1978*, Istituto della Enciclopedia Italiana, Roma.
- MINISTERO LL.PP., 1920, *Bollettino Ufficiale*, Anno XXI, N. 19, 1° luglio 1920, p. 2960.
- MINISTERO LL.PP., 1941, Decreto del Re Vittorio Emanuele III di respingimento della domanda della Ditta F. e E. Ruffolo di derivazione delle acque del Biferno per il Comune di Napoli e i comuni delle provincie di Napoli e Caserta, 3 pp.
- MINISTERO LL.PP., 1952, Molise. Le Sorgenti Italiane. Elenco e descrizione. Servizio Idrografico Centrale, Sezione Idrografica di Pescara, Pubbl. n. 14, Vol. VIII, 222 pp., Istituto Poligrafico dello Stato, Roma.
- MORELLO N., 1979, La nascita della paleontologia nel Seicento: Colonna, Stenone e Scilla, 265 pp., Stampa Tipomontza, Milano, ISBN 88-204-1543-7.
- NAZIONI UNITE, 2022, Rapporto mondiale delle Nazioni Unite sullo sviluppo delle risorse idriche 2022. Acque sotterranee: rendere visibile la risorsa invisibile, 250 pp., UNESCO, Parigi.
- ORABONA E., 1955, Relazione sulla convenienza di integrare l'alimentazione idrica delle provincie pugliesi mediante acquedotto dalle sorgenti del Biferno, in *Unione Regionale delle Provincie Pugliesi*, Bari, Ottobre 1955, Danisi, Bari.
- ORLANDO F., 1960, La questione dell'acquedotto Campano vista da Campobasso, in *Nord e Sud*. Rivista mensile diretta da Francesco Campagna, Febbraio 1960, n. 1, pp. 97-111.
- PARISI R., 2009, Architetture e paesaggi del lavoro in Molise, in *Paesaggi del lavoro in Molise. Itinerari culturali tra storia e valorizzazione*, (a cura di Parisi R.), pp. 13-62, Aracne Editrice Roma, ISBN 9788854827301.
- PASSARELLA G., 1952, Il problema dell'acqua potabile in puglia e nelle regioni limitrofe, in *La Tecnica del Mezzogiorno*, A. III, 1952, nn. 1-2, pp. 11-19, n. 3-4, pp. 15-20.
- PAVESIO B., 1985, Da Serino al Biferno. Storia di un acquedotto. 164 pp., Adriano Gallina Editore.
- P. D. P., 1955; Avremo un fiume in meno, in *Il Tempo*, A. XVII, n. 51, 22 dicembre 1955, p. 32.
- PERETTO C., ARNAUD J., MOGGI-CECCHI J., MANZI G., NOMADE S., PEREIRA A., ET AL., 2015, A Human deciduous tooth and new 40Ar/39Ar dating results from the Middle Pleistocene archaeological site of Isernia La Pineta, southern Italy. *PLoS ONE* 10(10), pp. 1-19, doi.org/10.1371/journal.pone.0140091.
- PESCATORE T., 1965, Ricerche geologiche sulla depressione molisano-sannitica, *Atti dell'Accademia di Scienze Fisiche e Matematiche*, S.3, 5, pp. 101-154.
- PETRELLA E., CELICO F., 2009, Heterogeneous aquitard properties in sedimentary successions in the Apennine chain: case studies in southern Italy. *Hydrological Processes: An International Journal*, 23(23), 3365-3371.
- PILLA N., 1823, *Geologia volcanica della Campania del Dottor Niccola Pilla*, 2 voll., 125 pp., 159 pp., Dalla Stamperia Reale, Napoli.
- PINTORI F., SPARACINO F., RIGUZZI F., 2023, Hydrology Drives Crustal Deformation and Modulates Seismicity in the Matese Massif (Italy). *Seismological Research Letters*.
- PORFIRIO A., ANELLI F., 1973, Problemi idrogeologici incontrati nello scavo delle gallerie di captazione delle sorgenti del Biferno dell'acquedotto campano e della variante ferroviaria della linea Napoli-Salerno fra Nocera Inferiore e Salerno, *Atti del XI Convegno dell'Associazione Geotecnica Italiana*, 1-4 marzo Milano, 31 pp., 15 figg.
- RANIERI L., 1956, I caratteri idrografici, in *La media ed alta valle del Biferno. Studio antropogeografico. Memorie di Geografia Antropica*, Vol. XII, Fasc. I, pp. 27-35, CNR Centro di Studi per le Geografia Antropica, Roma.
- ROTONDI L., 1968, Galleria di valico del Matese per l'acquedotto campano. Captazione delle sorgenti del Biferno e prima metà di valico, *L'Industria delle Costruzioni*, Rivista tecnica dell'A.N.C.E., fasc. 5, 1968, pp. 9-28.
- ROVIDA A., LOCATI M., CAMASSI R., LOLLI B., GASPERINI P., ANTONUCCI A., 2022, Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0, INGV [data set].
- RUFFOLO E., RUFFOLO F., 1916a, Progetto di derivazione del Fiume Biferno ad uso d'acqua potabile per Napoli (acquedotto sussidiario) e provincie di Napoli e Caserta, 20 pp., 4 tavv., Tipografia Cav. Aurelio Tocco, Napoli.
- RUFFOLO E., RUFFOLO F., 1916b, Progetto di derivazione del fiume Biferno ad uso d'acqua potabile per Napoli e Provincia di Napoli e Caserta, *L'Ingegneria Moderna*, Giornale degli interessi tecnici e professionali del Mezzogiorno d'Italia, A. XVII, n. 9, 30 settembre 1916, pp. 97-104; n. 10, 31 ottobre 1916, pp. 109-111.
- RUFFOLO E., RUFFOLO F., 1919, Il problema dell'acquedotto sussidiario per la città di Napoli: Turano, Biferno o Calore? 21 pp., Officine Tipografiche Aurelio Tocco, Napoli.
- RUFFOLO F., 1935, Acquedotto sussidiario per Napoli e Provincia. Derivazione delle sorgenti del Biferno, *Atti del III Congresso Nazionale degli Ingegneri Italiani*, Trieste, 30 maggio - 2 giugno 1935 (XIII), vol. I, pp. 827-847.
- RYBACH L., 2012, Shallow system: Geothermal Heat Pumps, in *Comprehensive Renewable Energy* (eds Sayigh A.), Vol. 7, pp. 189-207.
- SCARAVELLI D., MANCINI M., IACOVONE C., RUSSO D., KOTSAKIS T., 2004, Due nuovi siti di *Marmota marmota* fossili in grotte dell'Abruzzo e del Molise, in *Atti del Convegno Biologia, Ecologia e Conservazione di Sciuridi e Gliridi in Italia*, 21-23 ottobre 2004, Rende (CS), pp. 28-29.
- SENATO DELLA REPUBBLICA, 1963, Piano regolatore generale degli acquedotti e delega al Governo ad emanare le relative norme di attuazione, in 677ª Seduta Pubblica, Resoconto Stenografico, Giovedì 17 Gennaio 1963, pp. 31587-31638, Tipografia del Senato, Roma.
- SHIKLOMANOV'S I., 1993, World Fresh Water Resources, in *Water in Crisis. A Guide to the World's Fresh Water Resources*, (Gleick editor), pp. 13-24, Oxford University Press.
- SPERANZA F., MATTEI M., NASO G., DI BUCCI D., CORRADO S., 1998, Neogene-Quaternary evolution of the central Apennine orogenic system (Italy): a structural and palaeomagnetic approach in the Molise region. *Tectonophysics*, 299 (1-3), pp.143-157.
- STOCCHETTI F., 1705, Ragionamenti del dottor fisico Felice Stocchetti intorno alla pressione dell'aria a' surgimenti de' liquori & ad altri sollevamenti de' fluidi entro cannoncelli di svariata figura ... in risposta d'una lezione contro della detta pressione, et del libro del P. Cherubino d'Orleans, intitolato: Effets de la force de la contiguité des corps, 360 pp., Venezia.

- TAYLOR R., SCANLON B., DÖLL P. ET AL., 2012, Ground water and climate change. *Nature Clim Change* 3, 322–329 (2013). <https://doi.org/10.1038/nclimate1744>.
- UFAFP, 2004, Istituzioni Pratiche per la protezione delle acque sotterranee, Ambiente-Esecuzione. Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio (UFAFP), Berna, 141 pp.
- VALLISNERI A., 1715, Lezione accademica sulla origine delle fontane colle annotazioni per chiarezza maggiore della medesima di Antonio Vallisneri, 87 pp., Appresso Gio. Gabriello Ertz, in Venezia.
- VEZZANI L., FESTA A., GHISSETTI F., 2010, Geological-structural map of central-southern Apennines (1:250.000), Sheets 1 & 2, SELCA, Florence (Italy).
- WANG C. Y., MANGA M., 2021, Water and earthquakes, Springer Nature, p. 387.
- ZAPPA G., 1980, Mezzogiorno e progetti speciali. Criteri di programmazione e intervento straordinario negli anni '70, 258 pp., Officina Edizioni, Roma.





OPERA IPOGEA

Journal of Speleology in Artificial Cavities

