

1 ISSN 1722 - 0025

23

Quadrimestrale dell'Ordine Nazionale dei Geologi

Poste italiane S.p.A. - Spedizione in Abbonamento Postale - D.L. 352/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n.49) art.1 comma 1 DCB - ROMA Contiene I.P. In caso di mancato recapito, rinviare a Ufficio Poste Roma Romannina per la restituzione al mittente previo addebito. Contiene I.P.

# GEOLOGIA

## TECNICA & AMBIENTALE



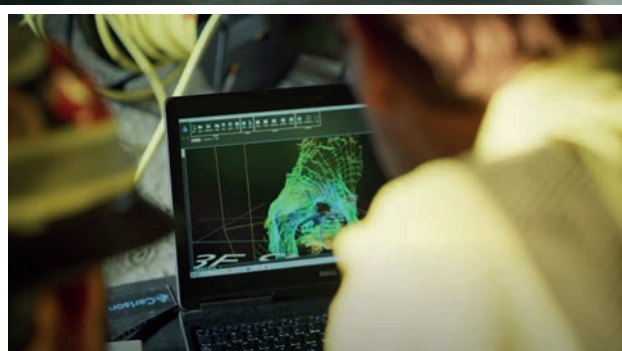
CONSIGLIO NAZIONALE  
DEI GEOLOGI

**Estratto  
dall'articolo**

**ATTIVITÀ  
ESTRATTIVE  
ESPERIENZE E  
PROSPETTIVE  
SOSTENIBILI**

di M. Nonne

# Sottosuolo Sottocontrollo



## monitoraggio ambientale

- > frane, argini, cedimenti o smottamenti
- > rilievo di fondali, fiumi e bacini
- > scansione di cavità minerarie o luoghi di estrazione



## archeologia

- > indagini archeologiche e pre-scavo
- > rilievo di strutture sotterranee e sommerse

*Laser Scanner da foro rileva sinkhole e doline, e mappa in sicurezza cavità sotterranee pericolose.*

Tecnologie per:

## mappatura 3D del sottosuolo

- > rilievi rapidi dei sottoservizi
- > tecnologia 3D Step Frequency per rilievi di dettaglio a velocità elevate



**CODEVINTEC**

Tecnologie per le Scienze della Terra e del Mare

Codevintec rappresenta anche:

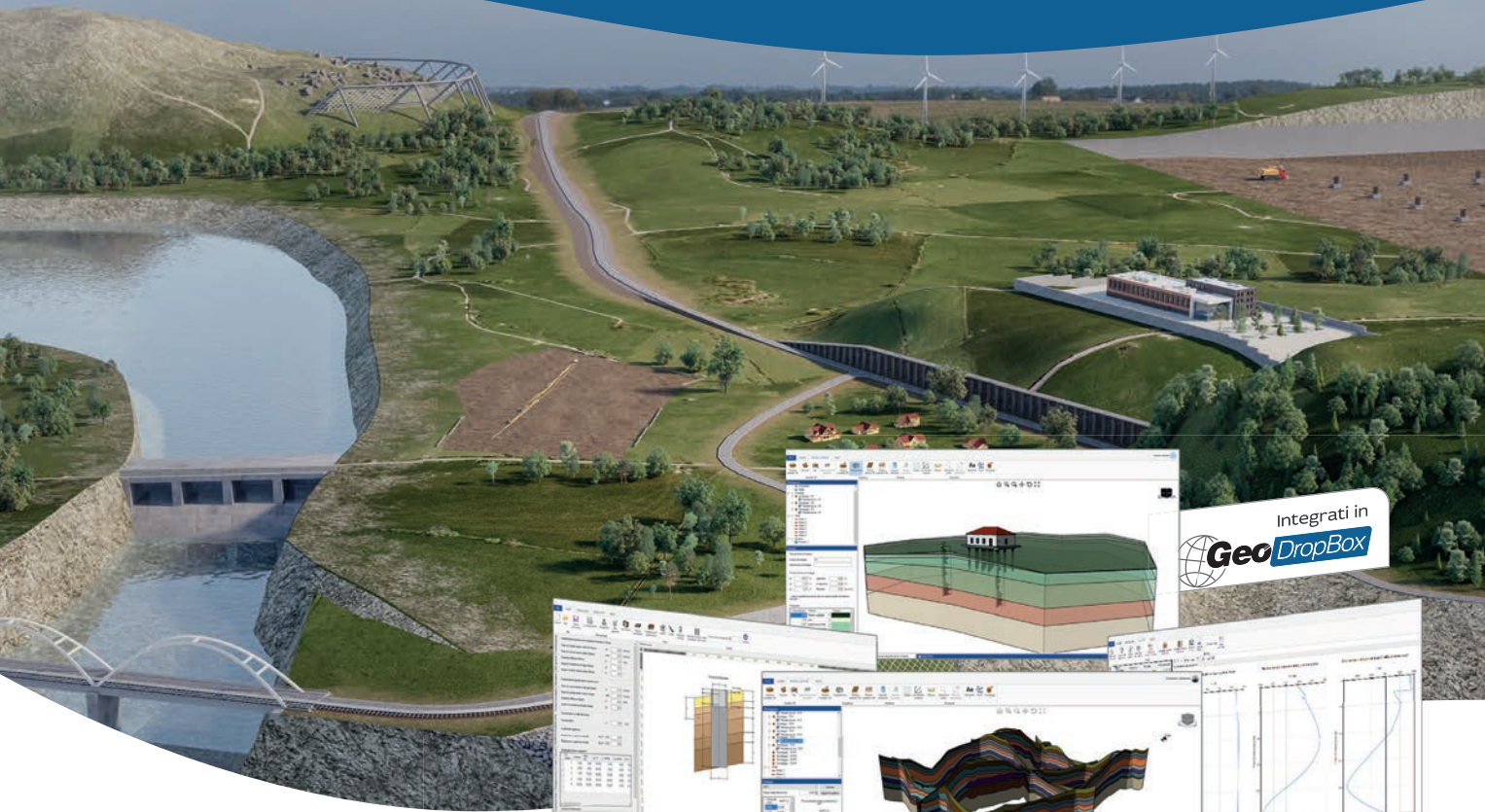


tel. +39 02 4830.2175 | info@codevintec.it | www.codevintec.it

# GEOSTRU IL PARTNER GIUSTO PER LA TUA PROFESSIONE

Produciamo software di successo a livello mondiale.

Leggi la nostra storia su: [geostru.eu/it/storiageostru](http://geostru.eu/it/storiageostru)



## GEOSTRU TI OFFRE I SOFTWARE PIÙ POTENTI ED AFFIDABILI PER LA TUA PROFESSIONE.

Produciamo software di successo a livello mondiale per numerosi settori professionali. I nostri software sono caratterizzati da un costo molto competitivo e da una qualità garantita da oltre 36.000 installazioni in più di 135 paesi nel mondo. I prodotti GEOSTRU sono caratterizzati da un'estrema facilità d'uso: ogni software risolve uno specifico problema, riducendo i dati di input a quelli strettamente necessari. Inoltre tutti i software sono integrati fra loro con la possibilità di esportare dati da/e per ogni applicazione della suite anche in formato AGS4.

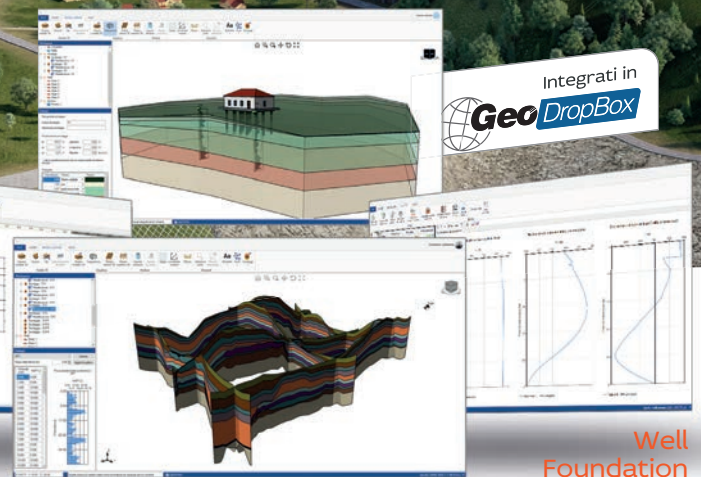
Tutti i prodotti sono pienamente compatibili con Normativa Italiana (NTC) e gli Eurocodici.

**Un partner IT che risponde  
ad ogni tua esigenza professionale.**



Per i lettori  
in esclusiva un  
codice di sconto!

Leggi il QR code



GM3D

### SOFTWARE

Ingegneria - Geologia e Geotecnica - Meccanica delle rocce - Prove in situ - Idrologia e Idraulica Topografia - Energia - Geofisica - Ufficio

**SERVIZI GRATUITI PER I NOSTRI CLIENTI**  
alla pagina: [geoapp.geostru.eu](http://geoapp.geostru.eu)

Corsi certificati in collaborazione con GoMeeting.  
Visita il sito [www.gomeeting.eu](http://www.gomeeting.eu)

### NUOVI SOFTWARE E SERVIZI

- Nuove versioni Geostru 2022
- Risposta sismica locale 2D
- GFAS (Geotechnical and F.E.M. Analysis System)
- GeoDropbox 2022
- GeoApp 2022 (<https://geoapp.geostru.eu>)
- GeoStru 365
- Well Foundation (Progettazione e calcolo pozzi strutturali)
- GM3D (Modellazione Geologica/Geotecnica, 3D, BIM)
- RPD (Road Pavement Design)
- DeepFound (Analisi platee Pilate)

Software, risorse,  
info, servizi e offerte  
sul nostro sito:  
[www.geostru.eu/it](http://www.geostru.eu/it)



# RC Professionale per i Geologi 2023

Liberi | Professionisti | Società | STP | Associazioni tra Professionisti | Studi Associati

Polizza selezionata e gestita da  
**Willis Italia e Tuscia Brokers di Michele Sensi**  
con la Compagnia **HDI Global Specialty SE Italia.**

## Premi Annui Lordi opz. "B" escluso "Grandi Opere" (\*) (\*\*)

(\*) per i Premi Annui Lordi (tabella "A") con copertura completa comprese Grandi Opere vai sul sito a pag 28 del Set informativo  
(\*\*) vedere a seguire per le estensioni "Retroattività"

Massimale	€ 500.000	€ 1.000.000	€ 1.500.000	€ 2.000.000	€ 2.500.000	€ 5.000.000
Franchigia per sinistro	€ 2.000	€ 2.000	€ 2.000	€ 2.000	€ 2.000	€ 5.000
Fino a Euro 40.000	€ 255,00	€ 286,00	€ 348,00	n/a	n/a	n/a
da 40.001 a 60.000	€ 321,00	€ 550,00	€ 671,00	€ 769,00	€ 1.260,00	n/a
da 60.001 a 100.000	€ 447,00	€ 609,00	€ 792,00	€ 905,00	€ 1.265,00	€ 2.094,00
da 100.001 a 150.000	€ 911,00	€ 1.059,00	€ 1.213,00	€ 1.390,00	€ 1.508,00	€ 2.543,00
da 150.001 a 200.000	€ 1.224,00	€ 1.354,00	€ 1.556,00	€ 1.786,00	€ 1.934,00	€ 2.772,00
da 200.001 a 300.000	€ 1.452,00	€ 1.681,00	€ 1.945,00	€ 2.182,00	€ 2.420,00	€ 3.062,00
da 300.001 a 350.000	€ 1.874,00	€ 2.121,00	€ 2.446,00	€ 2.754,00	€ 3.062,00	€ 3.846,00
da 350.001 a 400.000	€ 2.156,00	€ 2.490,00	€ 2.741,00	€ 3.183,00	€ 3.626,00	€ 4.558,00
da 400.001 a 500.000	€ 2.702,00	€ 3.062,00	€ 3.533,00	€ 3.988,00	€ 4.444,00	€ 5.562,00
<b>TARIFFA AGEVOLATA GEOLOGI UNDER 35</b> Fatturato fino ad € 35.000 MASSIMALE Euro 1.000.000 - franchigia euro 2.000					Premio annuo lordo € 237,00	

### PER INCLUDERE GRANDI OPERE<sup>1</sup> (\*)

↓ Scarica il set informativo dalla nostra pagina Web per la tabella premi opz.A che le comprende.

<sup>1</sup> Gallerie naturali ed artificiali, dighe, porti, ponti, ferrovie, linee ferroviarie, relativi impianti tecnici ed infrastrutture, funivie e relativi impianti ed attrezzature portanti o traenti

### RETROATTIVITA<sup>(\*\*)</sup>

#### 1. In caso di precedente copertura RC

**Professionale:** Allineamento alla stessa senza sovrappremio – sempreché la data di effetto della nuova polizza coincida con la data di scadenza della vecchia polizza.

#### 2. In caso di prima copertura RC Professionale:

- ▶ 5 anni: gratuita;
- ▶ illimitata: pagamento di un sovrappremio del 30%



**PER APPROFONDIRE, SCARICARE IL MATERIALE INFORMATIVO  
E LE TARIFFE COMPLETE PRIMA DI ADERIRE E SAPERE COME ADERIRE**

Collegarsi alla pagina web:

<https://clientportal.willis.it/sicuriconwillis/professioni/geologo/rc-professionalenew>



**Chiamaci!!!** Per qualsiasi informazione o necessità non esitare a contattarci al numero dedicato **02 92 21 00 00**



Oppure invia una e-mail alla casella postale  
**ita\_convenzionirc@willistowerswatson.com**



**WILLIS ITALIA Spa**  
Via Pola, 9 | 20121 - Milano (MI)  
**CF/P.IVA e Registro Imprese MI:**  
0390222496 - RUI n. B000083306  
**pec:** willisitaly@willis.mailcert.it

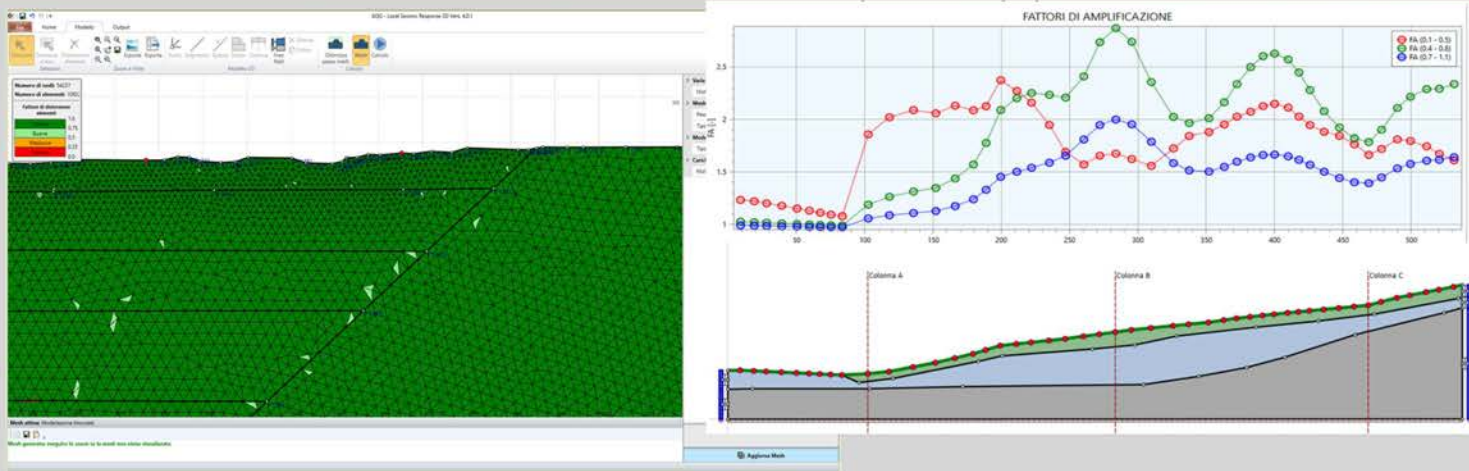


Di Michele Sensi

**TUSCIA BROTHERS di Michele Sensi**  
Via Monte Nero, 2/A | 01100 - Viterbo (VT)  
**CF:** SNSMHL63R23H501C  
**P.IVA:** 01804940565  
**Registro Imprese:** VT n. 130238 -  
RUI n. B000013401  
**pec:** tusciabrokers@pec.it

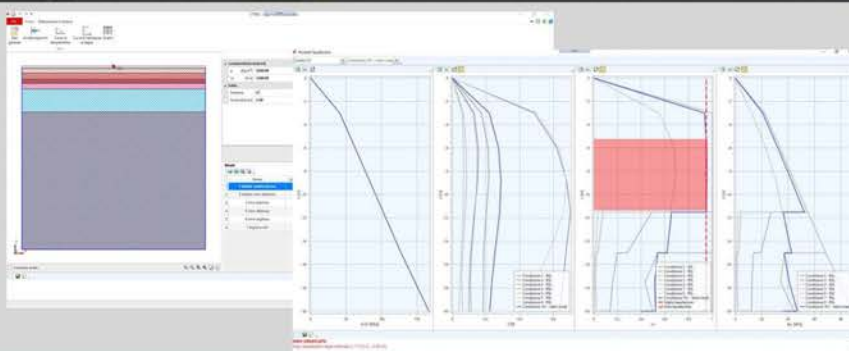
# LSR<sub>2D</sub>

## SOFTWARE PER L'ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE 2D

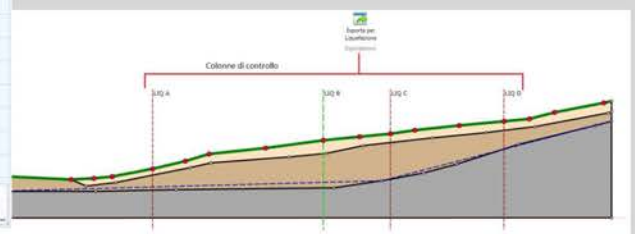


# LIQUEFAZIONE<sup>©</sup>

## SOFTWARE PER LA VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE MEDIANTE IL CALCOLO DELLE SOVRAPPRESSIONI INTERSTIZIALI



## INTEROPERABILITÀ CON LSR



Vieni a trovarci al  
**GEOFLUID**  
13-16 Settembre - Piacenza  
Pad. Area Esterna  
Corsia: G - Stand: 14

# La sicurezza di grandi performance su ogni terreno.

G E O F L U I D



Solidità, affidabilità, sicurezza e tutela dell'ambiente sono racchiuse in un design flessibile che rende queste perforatrici in grado di eseguire molteplici indagini e prove, garantendo la massima precisione con un'elevata semplicità di utilizzo. **La nostra idea di innovazione scende in profondità per garantirti le migliori prestazioni.**



Live the  
experience on:  
[comacchio.com](http://comacchio.com)



 **COMACCHIO**

Quadrimestrale dell'Ordine Nazionale dei Geologi  
N. 1/2023

**DIRETTORE RESPONSABILE**

Alessandro Reina

**CO-DIRETTORI**

Domenico Angelone

Rudi Ruggeri

**COMITATO DI REDAZIONE**

Arcangelo Francesco Violo, Filippo Cappotto, Domenico Angelone, Lorenzo Benedetto, Alessandra Biserna, Giovanni Capulli, Emanuele Emami, Daniele Mercuri, Mario Nonne, Rudi Ruggeri, Domenico Sessa, Paolo Spagna, Fabio Tortorici, Roberto Troncarelli, Valentina Casolini

**COMITATO SCIENTIFICO**

Eros Aiello, Vincenzo Simeone, Guido Giordano, Antonio Martini, Giulio Iovine, Claudio Mariotti, Sergio Castenetto, Sergio Rusi, Ezio Crestaz, Alfredo Degiovanni, Francesco Maria Guadagno, Paolo Fabbri, Rocco Dominici, Domenico Guida, Tiziana Apuani, Elisabetta Erba, Alessandro Conticelli, Nicola Casaghi, Rinaldo Genevois, Gilberto Panebianchi, Silvia Castellaro, Floriana Pergalani, Vincenzo Morra, Silvia Fabbrocino, Gabriele Scarascia Mugnozza, Massimiliano Imperato, Vincenzo Tripodi

**SEGRETERIA DI REDAZIONE**

Marina Berardi | [segreteriaapc@cngeologi.it](mailto:segreteriaapc@cngeologi.it)

**DIREZIONE, REDAZIONE, AMMINISTRAZIONE**

Consiglio Nazionale dei Geologi  
Via Vittoria Colonna, 40 - 00193 Roma  
Tel. 06.68807736 / 06.68807737 - Fax 06.68807742

**SITO INTERNET**

[www.cngeologi.it](http://www.cngeologi.it)

**UFFICIO STAMPA**

[addebtostampa@cngeologi.it](mailto:addebtostampa@cngeologi.it)

**PUBBLICITÀ**

Agicom srl  
Viale Caduti in Guerra, 28 - 00060 Castelnuovo di Porto (Roma)  
Tel 06.9078285 Fax 06.9079256  
[agicom@agicom.it](mailto:agicom@agicom.it)  
[www.agicom.it](http://www.agicom.it)

**GRAFICA E IMPAGINAZIONE**

Agicom srl  
Immagini: [@shutterstock.com](https://www.shutterstock.com)

**STAMPA**

Stampa digitale

Iscritto al Registro degli Operatori di Comunicazione (ROC)  
al n. 4768. Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 55 del  
5 febbraio 1986.

**Questa rivista è disponibile online:**

sfogliabile o scaricabile in formato PDF su [cngeologi.it](http://cngeologi.it)  
È inoltre **disponibile su App Store o Play Store**  
scaricando l'App dedicata.

La comunicazione di uscita del nuovo numero viene inviata per email a tutti gli iscritti.

La rivista ha una distribuzione cartacea destinata agli Ordini Regionali e ad un numero selezionato di indirizzi istituzionali.

*L'Autore dell'articolo è responsabile di quanto in esso contenuto, delle autorizzazioni alla pubblicazione di figure, tabelle, ecc., dei riferimenti e strumentazioni.*

Associato all'USPI, Unione Stampa Periodica Italiana.

**GARANZIA DI RISERVATEZZA**

L'editore garantisce la massima riservatezza dei dati forniti dagli abbonati e la possibilità di richiedere gratuitamente la rettifica o la cancellazione, scrivendo a: Consiglio Nazionale dei Geologi - Via Vittoria Colonna 40, 00193 Roma. Le informazioni custodite nell'archivio elettronico dell'Editore saranno utilizzate al solo scopo di inviare la rivista o altre comunicazioni concernenti l'abbonamento (D.L. 30/6/2003, n. 196, sulla tutela dei dati personali).

**PER GLI AUTORI:**

Le Norme di Stampa sono consultabili sul sito [cngeologi.it](http://cngeologi.it), nell'area Rivista.



**IN COPERTINA:** foto di Porto Flavia

7

**l'editoriale**

A. Reina

9

**il punto del presidente**

A.F. Violo

14

**Focus**

A. Biserna

**Abitare la professione...  
e non solo**



22

**Focus**

M. Nonne

**Attività estrattive:  
esperienze e  
prospettive sostenibili**



26

**Focus**

M. Mannini e G. Andiloro

**Il Geologo nella  
Governance della  
RISORSA IDRICA**



31

**Dissesti  
e alluvioni**

S. Nisio

**La Piattaforma  
Sinkhole e Cavità  
sotterranee**



35

**Recensione**

A. Reina

37

**Recensione**

F. Secchieri

41

**Risorsa acqua**

U. Chiocchini, F. Manna,  
L. Portoghesi

**L'acquedotto  
dell'imperatore  
Traiano per il porto di  
Centumcellae**



2023 Mostra Internazionale

13-16  
settembre 2023

# GEO<sup>24</sup> FLUID

Drilling & Foundations

**Mostra internazionale**  
delle Tecnologie ed Attrezzature  
per la Ricerca, Estrazione  
e Trasporto dei Fluidi Sotterranei

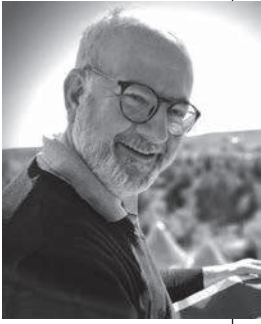


PIACENZAEXPO

[www.geofluid.it](http://www.geofluid.it)

Uffici e Quartiere fieristico  
PIACENZA EXPO Spa - Tel. +39.0523.602711  
[geofluid@piacenzaexpo.it](mailto:geofluid@piacenzaexpo.it)





**Alessandro Reina**  
Direttore Responsabile



**S**ono tempi che si caratterizzano per l'ampia discussione e il dibattito sui temi del cambiamento climatico e sulla meteorologia. Siamo certamente tutti convinti che sono fenomenologie del tutto diverse per cause ed effetti. Secondo l'ONU, **per "cambiamenti climatici" si intendono i cambiamenti a lungo termine delle temperature e dei modelli meteorologici.** Questi cambiamenti possono avvenire in maniera naturale, ad esempio tramite variazioni del ciclo solare.

Tuttavia, è ormai condiviso che a partire dal 19° secolo, le attività umane sono state il fattore principale all'origine dei cambiamenti climatici, imputabili essenzialmente alla combustione di combustibili fossili come il carbone, il petrolio e il gas.

Bisogna quindi correttamente considerare l'ordine di grandezza e la scala dei due fenomeni. Gli scienziati sono concordi, al netto di alcuni negazionisti imperterriti, (ma d'altronde siamo già stati messi alla prova con i terrapiattisti), che la Terra è 1,1°C più calda rispetto alla fine del 19° secolo e che l'ultimo decennio (2011-2020) è stato il più caldo mai registrato (Fonte ONU).

Non è la sede idonea ad intraprendere una nuova discussione ma certamente quanto riportato dal mondo scientifico deve portare a considerare che *tutti* devono adottare misure per il clima, e che la responsabilità di agire per primi ricade soprattutto sulle persone e sui paesi che contribuiscono maggiormente al problema. In realtà il difetto dei *Governanti della Terra* sta nell'acquisizione della consapevolezza del pericolo dei fenomeni naturali e degli impatti antropici solo dopo fatti che implicano reiterati eventi traumatici. Pensiamo solo a quanti terremoti devastanti, quante frane e alluvioni ci sono voluti in Italia prima che si attivassero leggi e normative adeguate alla mitigazione dei rischi geologici.

Appare decisamente opportuno richiamare la morale del mito di Narciso che è interpretata come un avvertimento contro l'eccessiva vanità e l'amore per sé stessi. Narciso era così preso dalla propria bellezza e dal proprio riflesso che non si accorse dell'amore di Eco e degli altri che cercavano di avvicinarlo. Alla fine, la sua ossessione per sé stesso lo portò alla morte. Il mito di Narciso, identificabile con l'Uomo, può essere interpretato come una storia sull'importanza di riconoscere i propri limiti e di essere consapevoli dell'effetto che si ha sugli altri (la Natura). A buon intenditor poche parole.

In accordo con la primaria volontà di questa rivista di fornire chiavi di lettura, aggiornamenti e approfondimenti principalmente ai geologi professionisti **proponiamo un numero che contiene diversi Focus su argomenti e temi di attualità geologica professionale.**

Un Focus di Alessandra Biserna (coordinatore della Commissione Pari Opportunità) che illustra dettagliatamente la condizione delle donne geologhe professioniste facendo confronti temporali e proponendo azioni e suggerimenti per una vera parità di opportunità.

Il Focus di Mario Nonne (Consigliere Nazionale) sulle attività estrattive riporta i temi e le problematiche affrontate nel Convegno "Attività estrattive esperienze e prospettive sostenibili" tenutosi il 26 luglio del 2022 in Sardegna, nella cittadina mineraria di Carbonia e organizzato dal Consiglio Nazionale dei Geologi, l'Ordine dei Geologi della Sardegna e il Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche dell'Università di Cagliari. Stefania Nisio dell'ISPRA (Dipartimento Servizio Geologico d'Italia) ci introduce ad un dissesto idrogeologico non facilmente prevedibile e identificabile: il sinkhole. Una sintesi sulla Governance della Risorsa idrica viene presentata con acume e proposizione dai colleghi Mannino e Andiloro. Seguono le recensioni di due gradevolissimi libri di grande interesse e che si prestano efficacemente all'opera di divulgazione delle scienze geologiche.

*Buona lettura*



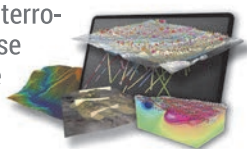
Adalta propone in Italia da più di 20 anni l'utilizzo di alcuni tra i più importanti software al mondo per l'innovazione tecnologica, la ricerca e lo sviluppo.

Centinaia di aziende private, istituzioni pubbliche, università italiane si avvalgono dei servizi di grandissima qualità offerti da Adalta: supporto nell'individuare il prodotto più adatto alle specifiche esigenze, consulenza e formazione per sfruttare al meglio le potenzialità del software.

Adalta ha selezionato nel proprio catalogo i seguenti software per rispondere alle necessità di geingegneri e geoscienziati.

### Seequent - Oasis montaj

Il software leader per la modellazione di dati geofisici. Permette una comprensione avanzata della superficie sotterranea della terra e dell'ambiente marino. All'interno di un unico dinamico ambiente 2D e 3D è possibile processare, mappare, interrogare e interpretare i dati, incluse indagini geofisiche, geochemiche e geologiche.



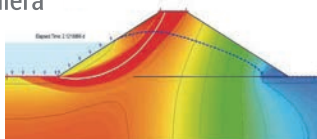
### Seequent - Leapfrog

Permette di trasformare dati complessi in modelli chiari e di semplice interpretazione; la suite è articolata in 4 moduli che possono essere integrati per elaborare modelli 3D di dati geologici del sottosuolo, stimare le risorse, verificare e tracciare il modello.



### Seequent - GeoStudio

Un modello, uno strumento, molte analisi! GeoStudio risponde in maniera completa a tutte le necessità di modellazione geotecnica e geoambientale.



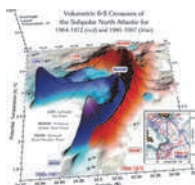
### Seequent - Central

Consente di visualizzare, modificare, integrare e gestire i propri dati geoscientifici all'interno di un ambiente centralizzato monitorabile. È la soluzione ideale per condividere informazione in un team di tecnici o con i finanziatori del progetto.



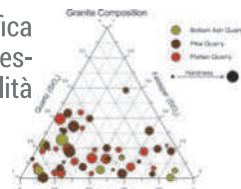
### Golden Software - Surfer

Le potenti funzioni di mappatura, modellazione e analisi di Surfer aiutano a trovare le risposte alle domande più difficili e prendere decisioni consapevoli.



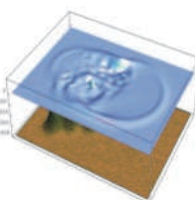
### Golden Software - Grapher

Ottimo software tecnico di grafica scientifica per chiunque abbia necessità di creare grafici di grande qualità velocemente e facilmente.



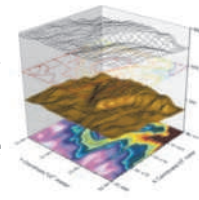
### Mathematica e Tecnologie Wolfram

Simula le applicazioni di geoscienza con modelli completamente interattivi che incorporano un'elaborazione delle immagini all'avanguardia, dati geodesici integrati e la potenza di calcolo che solo Wolfram può fornire.



### OriginLab - Origin Pro

Dai dati ai risultati. È un software user-friendly e facile da apprendere che fornisce potenti funzionalità di analisi dei dati e di grafica scientifica di qualità, adatte alle esigenze di scienziati e ingegneri.





**Arcangelo Francesco Violo**

Presidente Consiglio Nazionale dei Geologi

**S**i è da poco conclusa la prima metà del mandato elettorale della consiliatura in corso, ed è tempo di fare un punto della situazione, concentrandoci su quanto messo in campo dall'insediamento fino ad ora.

**Il ruolo del geologo è profondamente mutato in questi anni,** anche a causa di una serie di condizioni congiunturali di natura economico-sociale e di eventi estremi sempre più frequenti, circostanze che hanno ancor di più evidenziato la necessità di figure tecniche specializzate, in grado di intervenire e gestire situazioni di elevata complessità, quali l'emergenza climatica, le problematiche relative alle georisorse, la crisi energetica, ma anche competenti per la pianificazione territoriale, la rigenerazione urbana e la riqualificazione ambientale.

La figura del geologo, mantenendo elevati standard di professionalità e di specificità tecniche, ha conquistato spazi sempre maggiori nella considerazione pubblica, anche grazie a qualificati interventi in tutti i contesti in cui il Consiglio Nazionale ha potuto fornire il proprio contributo. In particolare, il Consiglio Nazionale si è reso protagonista di azioni mirate e virtuose sia nell'ambito istituzionale, in cui si è posto quale interlocutore dei decisori politici, che in quello della comunicazione pubblica, dove ha tenuto alta l'attenzione dei mezzi di comunicazione su tematiche di particolare interesse nazionale e planetario.

In tale contesto, di particolare rilevanza è stata la realizzazione della web tv "GeologiTV", che ha consentito di avvicinare alla categoria dei geologi le istituzioni, il mondo politico, quello accademico e quello delle imprese, diventando, per questi, polo informativo privilegiato. La trasmissione "Planet Earth" (ancora in corso), con ospiti di rilevanza nazionale e internazionale, ha consentito la messa in onda di 44 puntate su tutto il territorio italiano, grazie ad un nutrito network di emittenti regionali; sono stati realizzati anche 22 "speciali" in occasione di eventi e fiere e oltre 50 servizi giornalistici.

I costanti interventi a livello istituzionale, sia in fase di analisi che di proposte migliorative, con riferimento ai provvedimenti del Parlamento e/o del Governo hanno, tra l'altro, riguardato:

- il DL n. 120/2021, recante disposizioni per il contrasto degli incendi boschivi e altre misure urgenti di protezione civile,

il quale, nel testo convertito in legge, oltre a contenere altre disposizioni di diretto interesse, prevede che, nell'ambito degli interventi volti a prevenire gli incendi boschivi nelle aree interne del Paese in cui il rischio di incendio è elevato, per la realizzazione delle opere, è necessario che il progetto definitivo sia corredato di una relazione geologica sulle probabili conseguenze in termini di tenuta idrogeologica del suolo interessato dagli stessi incendi boschivi e che, al fine di stabilire la priorità di interventi urgenti necessari per prevenire e mitigare i danni conseguenti agli incendi nelle aree più esposte al rischio idrogeologico e idraulico, si possono utilizzare rilievi diretti di campo eseguiti da tecnici esperti, in modo da poter individuare gli effettivi livelli di rischio;

- la Legge sui titoli universitari abilitanti, con riferimento alla quale il Consiglio Nazionale sta lavorando in sede redazione dei regolamenti attuativi;

- il "DL Ischia", dove sono state recepite, in fase di conversione in legge, proposte volte a migliorare gli interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi eccezionali di carattere naturale che hanno colpito l'isola lo scorso 26 novembre 2022 (tra le quali la costituzione di un "presidio territoriale");

- il Codice dei contratti pubblici, che focalizza, in numerose parti, l'attenzione, in generale, sulle "attività di progettazione" (non limitandosi più a citare solo i "servizi di ingegneria e architettura", come nei previgenti testi) e, più in particolare, su quelle di competenza professionale dei geologi, che vengono riconosciuti tra i "progettisti" che debbono possedere specifici requisiti per la redazione degli elaborati specialistici di competenza;

- il "DL Ponte", nel quale sono state inserite disposizioni al fine di garantire un corretto aggiornamento degli elaborati specialistici di competenza nella realizzazione del collegamento stabile tra la Sicilia e la Calabria;

- il "DL Scarsità Idrica", che, nel testo convertito in legge, prevede il coinvolgimento del Consiglio Nazionale nelle funzioni di segreteria tecnica della Cabina di regia, la necessità di una ricognizione, da parte del Commissario straordinario, dei corpi idrici sotterranei potenzialmente idonei per il ravvenamento o l'accrescimento delle falde, l'individuazione dei progetti di fattibilità e di gestione delle reti di monitoraggio dei corpi idrici sotterranei e superficiali

per massimizzare l'efficace gestione delle risorse e la resilienza dei sistemi ai cambiamenti climatici;

- il "DL Salva Infrastrutture", per il riconoscimento della professionalità del geologo negli interventi di bonifica delle costruzioni da gas radon.

Alle citate attività si sono affiancate le presenze dirette nei tavoli istituzionali, tra cui quelli istituiti presso il CSLPPP, quali il Comitato Speciale per i pareri in merito ai progetti delle opere finanziate con il PNRR e la Commissione per la riforma del "Testo Unico dell'edilizia". Tra i risultati più tangibili, ottenuti nell'ambito dei citati organismi, vi sono le Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio delle gallerie e dei ponti esistenti, in cui si pone particolare attenzione agli aspetti geologici, geomorfologici e idrogeologici nella caratterizzazione del sito di costruzione, dell'ambito territoriale significativo e nella valutazione della vulnerabilità di tali infrastrutture.

Si è garantita, altresì, un'importante attività in materia sismica mediante la Commissione Tecnica per gli Studi di Microzonazione Sismica e CLE istituita presso il Dipartimento di Protezione Civile, il Tavolo Tecnico Sisma e l'Osservatorio Tecnico per la ricostruzione post-sisma 2016, garantendo supporto anche nelle fasi di aggiornamento del Testo Unico della ricostruzione privata.

Di particolare rilievo è stato, inoltre, il risultato conseguito con il cd. "DM Geoscambio", un provvedimento che ha in parte disciplinato la materia, riconoscendo il ruolo centrale dei geologi professionisti, grazie anche all'attività di analisi e supporto fornito dalla "Piattaforma Geotermia", Gruppo di studio istituito e coordinato dal Consiglio Nazionale, che vede la partecipazione di enti ed associazioni di settore, oltre che di rappresentanti di CNR, ISPRA, GSE, ENEA, INGV e MASE.

Analoghi organismi sono stati poi creati dal Consiglio Nazionale su materie di particolare interesse, quali "Sinkhole e cavità sotterranee", "Faglie Attive e Capaci" e "Stretto di Messina", con autorevoli componenti inseriti nel tessuto professionale, istituzionale e accademico.

Risulta degna di una speciale menzione la partecipazione del Consiglio al Tavolo nazionale MIMIT-MASE delle Materie Prime Critiche e GdL2 "Mining", in un momento storico che vede ritornare in agenda lo sviluppo della ricerca mineraria in Italia ed Europa secondo principi di sostenibilità ambientale ed economica.

Su base nazionale, sono state, infine, stabilite solide sinergie di ulteriore interesse della categoria, tra cui l'accordo con il Ministero della Difesa per la riqualificazione delle aree dismesse, il protocollo con il Commissario Straordinario per la bonifica delle discariche abusive, la partecipazione

al Gruppo di Lavoro di Itaca sui Criteri Ambientali Minimi e sul BIM geologico.

Non sono mancate azioni proficue con le istituzioni europee attraverso la Federazione Europea dei Geologi e la partecipazione a progetti europei su temi di nostra specifica competenza, impegno coronato dalla elezione di un Presidente Italiano della FEG (dopo 40 anni) indicato dal Consiglio Nazionale, nella persona del collega David Govoni. Sono proseguite anche le attività congiunte con le altre rappresentanze ordinistiche nell'ambito della Rete Professioni Tecniche, tra cui merita una citazione particolare l'approvazione della Legge sull'equo compenso, che sancisce e fissa principi fondamentali per l'adeguata remunerazione della prestazione professionale.

Ulteriori iniziative sono state adottate per fornire un contributo al miglioramento delle condizioni generali dei professionisti geologi mediante l'adesione ad ACCREDIA - Ente Italiano di Accreditamento. Per conseguire lo stesso obiettivo è stata stipulata, coinvolgendo anche la Fondazione Centro Studi, una convenzione con UNI - Ente Italiano di Normazione, che ha consentito di offrire la consultazione della normazione volontaria agli iscritti geologi ad un prezzo di favore, oltre a produrre il coinvolgimento di diversi esperti designati dal Consiglio Nazionale negli Organi tecnici di UNI, partecipando, così, in via diretta, alla definizione di normative volontarie nei settori di principale interesse per la categoria.

Tutte le iniziative sopra elencate hanno consentito, anche mediante azioni trasversali, di raggiungere, unitamente all'obiettivo principale di valorizzazione della professione del geologo, quello di sensibilizzazione della presenza femminile nelle geoscienze.

Un significativo impulso sul versante organizzativo è stato dato alle attività della Fondazione Centro Studi, potenziandone l'organico e affidandole, mediante la stipula di una convenzione quadro e di convenzioni operative, compiti per fornire supporto di carattere specialistico al Consiglio Nazionale in diversi ambiti; di particolare interesse per gli iscritti sono le deleghe in materia di organizzazione di attività di formazione professionale, anche attraverso l'erogazione a distanza di eventi che danno diritto alla maturazione di crediti professionali ai fini dell'assolvimento degli obblighi in materia di aggiornamento.

**Questo resoconto**, sebbene parziale e poco esaustivo rispetto a tutte le attività realizzate fino ad oggi, **vuole rappresentare un nuovo punto di partenza per quello che si accinge ad essere l'ultimo giro di boa per la conclusione positiva del mandato di questo Consiglio Nazionale.**

Nei prossimi due anni, verranno, certamente, raccolti spunti e proposte migliorative per affrontare con competenza e

criterio le nuove sfide, apportando accorgimenti, dove necessario, e proseguendo in maniera decisa sui versanti che sinora hanno consentito di raccogliere risultati positivi per i geologi professionisti. Si proseguirà, in particolare, nel lavoro avviato per valutare, in sinergia con le altre professioni tecniche, efficaci correttivi e regolamenti attuativi del Codice dei contratti pubblici, tra cui quello che riguarda l'aggiornamento del "DM Parametri"; così come si insisterà per il riassetto della normativa vigente

in materia di gestione delle risorse idriche e la revisione del Testo Unico ambientale.

Il prosieguo del lavoro, oltre a consolidare ulteriormente il ruolo del "geologo progettista", avrà come importante scopo quello di rafforzare la figura professionale nelle attività di programmazione e pianificazione di medio e lungo termine, in modo che questa possa mettere in campo interventi utili e sostenibili, aderenti alle reali necessità dei territori ed alle dinamiche evolutive future.



# VAJONT

## 60 ANNI DOPO IL DISASTRO

**29/30 SETTEMBRE 2023**  
**LONGARONE (BL)**

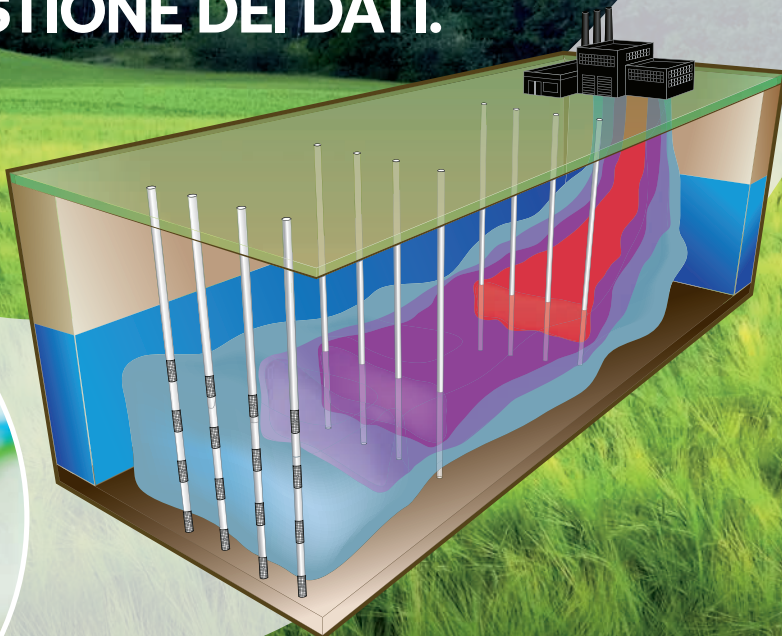
**GRANDI OPERE E SOSTENIBILITÀ TECNICA,  
AMBIENTALE, ECONOMICA E SOCIALE**  
LE NOSTRE ESPERIENZE, LE NOVITÀ  
NORMATIVE.



**PER TUTTE LE INFO  
VISITA IL SITO  
WWW.CNNGEOLOGI.IT**

GESTIONE  
INTEGRATA DATI

# DALLA CARATTERIZZAZIONE AL MONITORAGGIO: L'IMPORTANZA DELLA GESTIONE DEI DATI.



Ad una raccolta efficace dei dati sulla qualità delle acque, deve seguire una loro gestione semplice, accurata e tempestiva per poter fornire in tempo reale gli elementi necessari a decisioni predittive. EgeoLab mette a disposizione dei clienti una piattaforma in grado di dialogare con la maggior parte dei sensori ambientali presenti sul mercato, di aggregarne i dati e di renderli fruibili in maniera semplice e immediata da qualsiasi device.

Da sempre impegnati nell'offrire le soluzioni tecnologiche più avanzate e affidabili per misure e monitoraggio di livello, campionamenti low-flow e indisturbati, analisi qualitative delle acque sotterranee o di superficie. Abbiamo selezionato i migliori prodotti disponibili sul mercato internazionale per soddisfare le esigenze dei professionisti del settore.



MISURE DI LIVELLO



DATALOGGER  
E TELEMETRIE



CAMPIONAMENTO  
LOW-FLOW



PROFILAZIONE  
MULTILIVELLO

## Solinst®

DISTRIBUTORI UFFICIALI PER L'ITALIA E RIVENDITORI PER CROAZIA,  
SLOVENIA E SVIZZERA DEI PRODOTTI SOLINST®

**Una partnership di successo che dura da oltre trent'anni.**

**EGEO** +lab

[WWW.EGEO.LAB.IT](http://WWW.EGEO.LAB.IT)

GRUPPO EGEO S.R.L. | VIA OVIDIO, 11 - 20026 NOVATE MILANESE (MI) | TEL. +39 02 36 577 830 | EMAIL: [EGEO@EGEO.LAB.IT](mailto:EGEO@EGEO.LAB.IT)

focus

# ABITARE LA PROFESSIONE

...e non solo

*Principi e nozioni di contabilità, fiscalità, previdenza e normativa per i (giovani) Geologi professionisti*







A cura di **Alessandra Biserna**  
Consiglio Nazionale Geologi  
Coordinatrice della Commissione Pari  
Opportunità del Consiglio Nazionale dei  
Geologi

Parlare di Pari Opportunità nel nostro Paese oggi pare essere anacronistico: l'Italia fanalino di coda per le *politiche di genere* nel resto dell'Europa, nel giro di qualche mese annienta tutto e tutti. Ad ottobre scorso, Giorgia Meloni, per la prima volta, viene ad essere capo del governo e lo scorso febbraio con le elezioni primarie del Pd, Elly Schelein, è nominata segretaria del partito di opposizione più importante. Ma oltre all'ambito politico, in tempi recenti abbiamo la nomina della Presidente della Corte Costituzionale, dott.ssa Silvana Sciarra, e quella della Presidente, per la prima volta nella storia di Italia, della Corte di Cassazione, dott.ssa Margherita Cassano.

Sono tutti segnali che indubbiamente ci raccontano quanto il nostro Paese stia cambiando. In politica è stata una scelta voluta dal basso: sono state le elettrici e gli elettori che hanno inteso premiare le candidate per il loro impegno ed attivismo, un riconoscimento nato essenzialmente dal basso e pertanto costruito con coraggio e volontà inamovibile, giorno dopo giorno.

Ma al di là di queste donne, per le quali non posso che esprimere grande soddisfazione (sono di parte) e che se vogliamo potrebbero essere dotate di *una marcia fuori dall'ordinario*, nella realtà quotidiana siamo ancora ben lontani da risultati così ottimistici; e pertanto vi è ancora necessità di affrontare, analizzare e trovare soluzioni perché il *gap* di genere nel nostro Paese non sia così deludente soprattutto per alcune professioni, come la nostra. E c'è da attenderci, purtroppo, che questi stereotipi - modelli di ruolo sbagliati, potranno

permanere ancora del tempo, se nel mondo dell'intelligenza artificiale, saranno acquisiti senza consapevolezza.

Dati alla mano, infatti, noi geologhe risultiamo ancora ben lontane dall'aver raggiunto un *presupposto* di equilibrio tra i generi nel nostro *ambiente lavorativo*.

E' purtroppo una condizione comune per il mondo delle professioni tecniche e, più in generale, per quello delle scienze. Quante volte si dice che le ragazze per le materie STEM non sono portate. Sembra di assistere, ancora oggi, sia ad una sorta di *autoesclusione* delle giovani studentesse e poi delle donne nel mondo del lavoro, verso queste discipline - peraltro poco giustificabile considerando le funzionalità della mente umana - sia ad una persistente affermazione di *modelli culturali* nelle varie forme e manifestazioni dei mass-media, ben lontani da visioni innovative, ma ancora ancorate a quelle funzioni soprattutto sociali che le donne frequentemente hanno svolto nel passato.

Sicuramente negli ultimi 50 anni, il ruolo sociale delle donne si è evoluto, ma la nostra assenza in *funzioni di governance*, qualsiasi ambito si consideri, è ancora molto pesante e lo è, come già detto, in molte professioni dove il *discrimine di genere* è particolarmente alto.

La nostra professione, come tutte quelle di *area tecnica*, ha sicuramente delle peculiarità operative: come verifiche e sopralluoghi tecnici, uso di strumentazione di cantiere, ecc., che hanno fatto sì che in tempi passati la stessa fosse **appannaggio quasi esclusivo del mondo maschile**.

Da diversi anni nell' *area delle professioni tecniche* questa tendenza però sembra cambiare, ma nonostante l'introduzione di nuove tecnologie e la consapevolezza delle donne di possedere le medesime capacità (e questo lo si vede soprattutto a livello scolastico/universitario), in ambito professionale non si riesce ancora a raggiungere livelli di parità di genere sostenibili e auspicabili per una *società matura*.

A questo incremento numerico non è però corrisposto un'eguale rappresentanza negli organi direttivi dei Consigli nazionali e in quelli territoriali, in cui la prevalenza continua a farla il genere maschile.

A questo deve aggiungersi anche e soprattutto un differenziale di *reddito*, che spesso per le geologhe è un dato veramente disarmante, soprattutto nelle regioni del sud.

## Commissione PO:

La Commissione nel CNG<sup>[1]</sup>, dalla sua istituzione, nel gennaio 2012, ha da subito iniziato a **discutere sulla necessità di intraprendere un percorso per valorizzare l'impegno delle donne geologhe nel mondo della professione.**

**E' stato evidente fin dal principio che il gap di genere, in modo**

<sup>1</sup> E' con la legge 183/2010 (art.21) che obbligatoriamente tutte le pubbliche amministrazioni istituiscono il Comitato Unico di Garanzia per le pari opportunità - CUG - per la valorizzazione del benessere di chi lavora e contro le discriminazioni.

**più o meno evidente, non ha fatto altro che offuscare le competenze e l'impegno profuso dalla componente femminile nella professione.**

Questo gap di genere che inferisce la nostra professione, e non solo, viene peraltro messo in evidenza, in questi ultimi anni, anche da specifici *decreti interministeriali* - Ministero del lavoro e delle politiche sociali e Ministero dell'economia e delle finanze, in attuazione dell'art. 2 punto 4, lett. f, del Regolamento 615/2014 ed ex art.4 comma 11, L. n. 92/2012, con la finalità dell'applicazione degli incentivi per le assunzioni, secondo le disposizioni della così detta legge Fornero<sup>[2]</sup>.

In una prospettiva di crescita, questi decreti hanno la finalità di individuare annualmente i settori e le professioni, caratterizzati da un tasso di disparità *uomo donna* che supera almeno del 25% la *disparità media uomo-donna*, sulla base delle elaborazioni effettuate dall'ISTAT in relazione alla media annua dell'anno di riferimento.

Considerando di appartenere alla categoria professionale descritta come *ingegneri, architetti e professioni assimilate con l'ultimo decreto interministeriale del 16 novembre 2022*, che per l'anno 2023, si ha un **tasso di disparità uomini - donne, pari al 60.4 %**, avvalorando che ancora oggi esistono significative differenze per poter garantire un'effettiva parità lavorativa.

Un po' di dati per contestualizzare ancora meglio le considerazioni che esporremo in seguito. Le donne da tempo costituiscono oltre la metà dei laureati in Italia, rappresentando, già nel 2019, il **58,7%** del totale (quota

<sup>2</sup> La legge Fornero n. 92/2012 prevede un'agevolazione (sgravio contributivo) destinata alle assunzioni di donne senza limite di età e di residenza, prive di un impiego regolarmente retribuito da almeno 24 mesi, ovvero da almeno 6 mesi se residenti in aree svantaggiate, che rientrino in una professione o in un settore economico caratterizzati da una accentuata disparità occupazionale di genere.

tendenzialmente stabile negli ultimi dieci anni); più approfonditamente, hanno un'incidenza del **65,4%** nei corsi magistrali a ciclo unico, mentre si scende al **56,2%** nei laureati magistrali biennali e al **58,4%** nei laureati di primo livello.

Come Commissione PO, che ho il piacere di coordinare dal 2015, abbiamo infatti inteso avere subito un quadro della percentuale di donne appartenenti alla categoria professionale dei geologi. Infatti, dalle informazioni acquisite dalle *segreterie degli Ordini territoriali* nel 2017 ed elaborate nel 2018, questa percentuale non si attestava nemmeno al 20% ca. e purtroppo risultava in calo dal 2015 (21%). Queste informazioni sono state acquisite anche recentissimamente dall'attuale CPO attraverso l'utilizzo della piattaforma WEB-GEO e tuttavia il dato permane molto deludente: 81% di uomini e 19% di donne sul totale degli iscritti all'Albo professionale.

E' indubbio che l'attuale contrazione numerica investa tutta la *professione del geologo* e che la stessa sia stata fortemente condizionata dalla specifica vicenda della pandemia, ma è altrettanto evidente che tale andamento lo si sta registrando ormai da diversi anni e in modo molto impattante lo si riversa proprio sulla categoria delle donne professioniste.

La Commissione da me coordinata, proseguendo sulla traccia del lavoro di quella precedente, consapevole dell'urgenza di tale situazione, si è posta subito alcuni obiettivi, tra cui quello di delinearsi come:

- **Strumento di collegamento** tra le varie Commissioni PO territoriali e con *le altre professioni tecniche, per acquisire la "forza dei numeri"*, per poi intervenire in opportuni ambiti istituzionali e previdenziali;
- **Mezzo di raccolta e monitoraggio dati**, per riuscire a recuperare informazioni che possono essere indizio di disagi e/o difficoltà lavorative;
- **Laboratorio di idee** per arrivare a costruire strategie di intervento;
- **Veicolo per la promozione** del VALORE DELLA DIVERSITA' e dell'educazione sui temi del *disequilibrio di genere*.

Da questi **obiettivi** sono infatti emerse, in occasione dell'attività 2015-2020 della Commissione, due significative azioni:

- **Un primo Evento<sup>[3]</sup> di sensibilizzazione** sulle PARI Opportunità e sul valore della diversità, intesa come ricchezza di

<sup>3</sup> \*titolo dell'evento: "Uguaglianza, Pari Opportunità e Principio di non discriminazione"; la sua organizzazione ha potuto contare sulla presenza della Consigliera Nazionale di Parità, Francesca Bagni Cipriani, della dott.ssa. Maria Masi, Avvocata Presidente CPO del Consiglio Nazionale Forense, oltre che della prof.ssa Valeria Maione, docente di Economia del Lavoro dell'Università degli Studi di Genova.

...al di là di queste donne, per le quali non posso che esprimere grande soddisfazione (sono di parte) e che se vogliamo potrebbero essere dotate di una marcia fuori dall'ordinario, nella realtà quotidiana siamo ancora ben lontani da risultati così ottimistici...



espressione e di visioni, con le colleghe delle varie regioni in cui era presente una CPO, ORGANIZZATO A ROMA IL 22-23 MARZO.

- **La proposta nel 2017** alla RETE DELLE PROFESSIONI TECNICHE, condivisa insieme alla allora consigliera del CNI, dott.ssa Ania Lopez, della necessaria istituzione, per la prima volta, di un gruppo di lavoro in grado di occuparsi di queste problematiche per concertare politiche comuni con altre professioniste, contando sulla forza di una maggiore rappresentatività. E così è stato: nel mese di aprile 2018, si è potuta tenere a Roma la prima riunione del Gruppo di lavoro sulle **Pari Opportunità** dell'organismo della RETE.

## L'evento del MAGGIO 2022

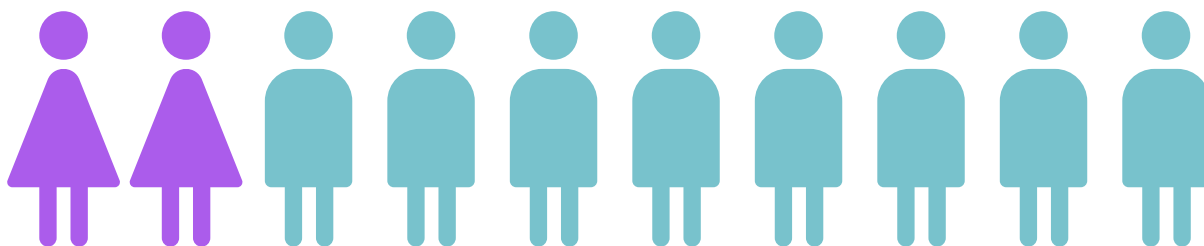
L'attività della Commissione, al secondo mandato del mio coordinamento, ha poi ripreso immediatamente con la partecipazione

del GdL sulle PO della RETE alla stesura del documento che la stessa RETE delle PROFESSIONI TECNICHE ha redatto in occasione della consultazione governativa per la redazione del **PNRR nazionale**. In particolare, il GdL ha dato corpo, tra le diverse *misure di adeguamento e ripresa delle professioni, quali elemento sussidiario e tassello della PA*, presentate dalla RETE, ad un **Piano specifico per l'attuazione delle PARI OPPORTUNITA'**<sup>[4]</sup>, rientrando questo nella **missione 5 – inclusione e coesione**, come componente essenziale del PNRR e obiettivo AGENDA 2030 – Goal 5.

La successiva azione è scaturita dall'idea, peraltro già maturata con la precedente Commissione, di misurarsi con la formulazione di **percorsi formativi** volti a padroneggiare *modelli professionali di efficienza comportamentale ed organizzativa*, con il potenziamento di nuove *competenze trasversali*, necessarie sia per l'avvento di tecnologie digitali sempre più innovative, sia per la conseguenziale e crescente complessità del mondo del lavoro.

Da subito infatti la Commissione ha focalizzato l'attenzione sul progetto di una formazione che potesse guardare ad esempio ad una più spinta *conoscenza economico-finanziaria*, spesso assente nei nostri piani di studio universitari, oppure, ad una maggiore consapevolezza delle potenzialità delle cosiddette *soft-skill*, ritenute sempre più

<sup>4</sup> Pari opportunità. Realizzare una piena emancipazione economica e sociale della donna mettendo la parità di genere come criterio di valutazione di tutti i progetti (gender mainstreaming) e promuovendo una strategia integrata di riforme, istruzione e investimenti in infrastrutture sociali e servizi di supporto.



*Nel settore geologico, nel 2017, la percentuale di donne iscritte all'Albo professionale era inferiore al 20%. Attualmente, l'81% degli iscritti all'Albo professionale dei geologi sono uomini e il 19% sono donne.*

indispensabili per raggiungere obiettivi di una più alta efficienza e abilità di autogestione nello svolgimento del proprio lavoro. Premetto che al fianco della Commissione ha strettamente collaborato, da quando è stata istituita, la prof.ssa Valeria **Maione** -Docente di Economia del Lavoro dell'Università degli Studi di Genova, in quanto esperta ed attivista in materia di PO, nel percorso della sua lunga carriera universitaria e lavorativa (viene a rappresentare una delle prime economiste ad entrare negli ambienti dell'Istituto della Banca di Italia<sup>5</sup>).

E così è nata l'idea di progettare una giornata di formazione che non avrebbe trattato i consueti argomenti a carattere tecnico-professionale, ma che avrebbe affrontato temi connessi agli *aspetti di cornice della professione* e tuttavia non meno significativi e trascurabili di quelli tecnici nella prospettiva di una crescita lavorativa credibile ed efficace. Inoltre questa occasione di studio avrebbe dovuto rivolgersi sia alle DONNE che ai GIOVANI, proprio perché rappresentativi entrambi di *status* professionale caratterizzato quasi sempre da indubbe difficoltà realizzative ed operative.

Come Commissione abbiamo quindi pensato di costruire un momento, che in poche ore, mettesse a punto un programma capace di assolvere a due esigenze di fondamentale importanza:

- **Riuscire ad acquisire alcuni strumenti di base** per meglio **gestire e programmare** la propria attività professionale nelle complesse dinamiche e sfide *del mercato del lavoro* odierno.
- **Porre l'attenzione** su alcuni **aspetti specifici e condizionanti** l'esercizio della professione del geologo le cui *regole comportamentali e organizzative*, sono in grado di produrre tutela,

<sup>5</sup> Membro dei Consigli di Reggenza delle Sedi e dei Consiglieri delle Succursali della Banca d'Italia.

assistenza, dignità e valorizzazione del lavoro professionale, oltre che garantire la propria sicurezza e quella degli altri.

Insomma l'aspirazione è stata cercare di offrire alcune delle conoscenze indispensabili che riguardassero la veste strutturale e funzionale della professione, ma anche quella di offrire un *piccolo ed insolito bagaglio* di informazioni di base, a carattere economico-finanziario e gestionale, perché scelte operative e di conduzione della propria attività siano affrontate con sempre più consapevolezza e sicurezza, a fronte di un mercato del lavoro, dove innovazione tecnologica, flessibilità, globalizzazione e interdisciplinarietà stanno diventando visioni sempre più incisive.

E così abbiamo parlato nella prima parte della giornata intitolata "Abitare la professione ... e non solo", con i relatori di competenza economico-finanziaria (V. Maione, R. Casini), di principi di base dell'economia, di elementi di *contabilità generale*, del *bilancio civilistico* e di ciò che significa *controllo di gestione*.

Nella seconda parte dell'incontro grazie alla disponibilità di alcuni consulenti del CNG (O. Emanuele, C. Perugini), della Responsabile dell'Ufficio Contabilità (L. Coppola) e della Responsabile Area Assistenza e Previdenza del nostro Ente di Previdenza ed Assistenza Pluricategoriale -EPAP, siamo scesi molto più nel dettaglio della professione. In particolare, con queste ultime relatrici e relatori, abbiamo cercato di esporre nel modo più chiaro possibile cosa significa oggi muoversi nel lavoro del geologo, allestendo nella *forma*, che come spesso accade diviene *sostanza*, il proprio spazio e riconoscimento professionale.

## Normativa e PROGETTI FUTURI

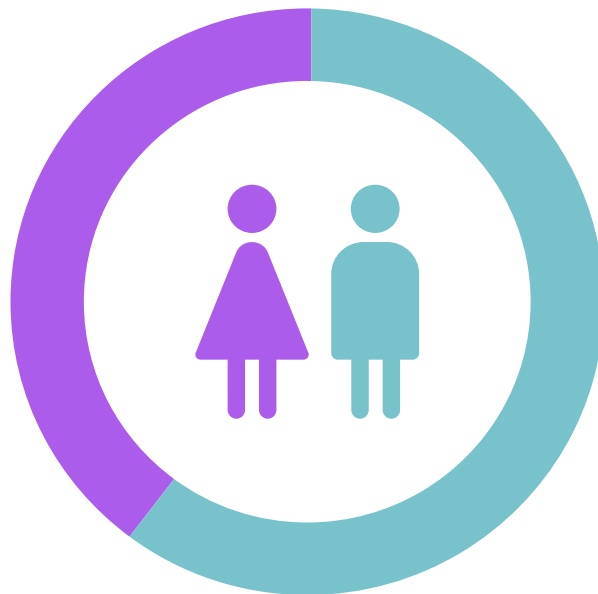
In conclusione, puntualizzo che sicuramente l'organizzazione di questo evento non è stata altro che un momento di inizio, perché la Commissione dovrà continuare, con il proprio lavoro, a farsi promotrice

*La Commissione PO si propone come strumento di collegamento tra le Commissioni territoriali e altre professioni tecniche per acquisire "la forza dei numeri".*

*Il tasso di disparità uomini-donne nella categoria professionale degli ingegneri, architetti e professioni assimilate è del 60,4% per il 2023.*

di iniziative ed obiettivi analoghi, affinché sempre meno ostacoli e *stereotipi di genere*, rendano minato il cammino lavorativo delle donne e di tutte le altre categorie lavorative in posizioni meno rappresentate e più disagiate. Pensare e fare in maniera diversa, fino a quanto oggi è stato pensato e fatto, è necessario e lo è soprattutto per un'istituzione di diritto pubblico come quella che rappresenta il CNG. Si tratta di una questione di responsabilità sociale, ancor prima che culturale. Chiudo a questo punto, con alcune informazioni fortemente rassicuranti e certamente in grado di condizionarsi vicendevolmente nel futuro immediato:

- L'analisi delle informazioni numeriche dei nostri iscritti, evidenzia una crescita progressiva della professione femminile e della capacità delle donne di produrre reddito, peraltro messa in luce da dati estremamente positivi sulle geologhe di età inferiore ai 35 anni.
- Il Paese ha di recente assunto una veste molto più illuminata e innovativa, anche se imposta in buona parte dall'Europa. Infatti con la MISSIONE 5 - INCLUSIONE E COESIONE, come già ricordato, la realizzazione del PNRR prevede un articolato intervento dedicato all'occupazione femminile, che verrà ad essere incentivato attraverso nuove misure, come ed es., un nuovo *sistema di certificazione della parità di genere*. In particolare, con l'art.47 del decreto legge n. 77 del 2021, sono introdotti strumenti molto importanti ed impositivi per favorire l'inclusione di donne, di giovani e di lavoratori con disabilità. Di fatto le imprese che intenderanno partecipare



ai bandi del PNRR dovranno presentare rapporti sulla situazione del personale, impegnarsi ad assumere almeno il 30% di donne come requisito necessario all'adozione di strumenti di conciliazione vita-lavoro, ecc... dalle *linee guida* del decreto suddetto addirittura, i bandi di gara dovranno prevedere delle premialità specifiche a seconda del settore, della tipologia e della natura del contratto o del tipo di progetto. Ma ancor più, è fissato dalla L. n. 162 del 5 novembre 2021, che introducendo modifiche al *Codice delle pari opportunità* - D.lgs. 198/ 2006 - dispone azioni come:

- Il *monitoraggio* di ciò che verrà attuato a livello nazionale per le pari opportunità mediante un rapporto che sarà prodotto ogni due anni dalla consigliera e/o consigliere nazionale di parità e che dovrà essere comunicato direttamente in sede parlamentare.
- La *certificazione della parità di genere* [...] *al fine di attestare le politiche e le misure concrete adottate dai datori di lavoro per ridurre il divario di genere in relazione alle opportunità di crescita in azienda, alla parità salariale a parità di mansioni, alle politiche di gestione delle differenze di genere e alla tutela della maternità* [...].
- La *premialità* verso azioni virtuose ed efficaci nelle politiche delle pari opportunità.

Fornire a tutti uguali opportunità per la propria realizzazione significa avanzare verso una società migliore per qualità di vita e ricchezza di idee. Se così non fosse sarebbe una perdita per tutta la Comunità-Paese e, nel caso in essere, anche per la nostra categoria professionale.

Il viaggio delle acque  
contaminate termina  
sulla nostra tavola.

**Noi lavoriamo  
per renderle  
sane e sicure.**

Festeggiamo 10 anni di impegno costante nella progettazione di interventi di bonifica che siano economicamente e ambientalmente sostenibili, con l'impiego delle migliori tecnologie offerte dal mercato: **il futuro dei nostri figli è il nostro presente, il nostro impegno è renderlo migliore.**



# SOLUZIONI PER L'AMBIENTE



Registrazione e  
trasmissione  
remota dei dati



Ossigeno disciolto



Torbidità



Conducibilità e salinità



Sonde di livello  
e temperatura



Fotometro  
portatile



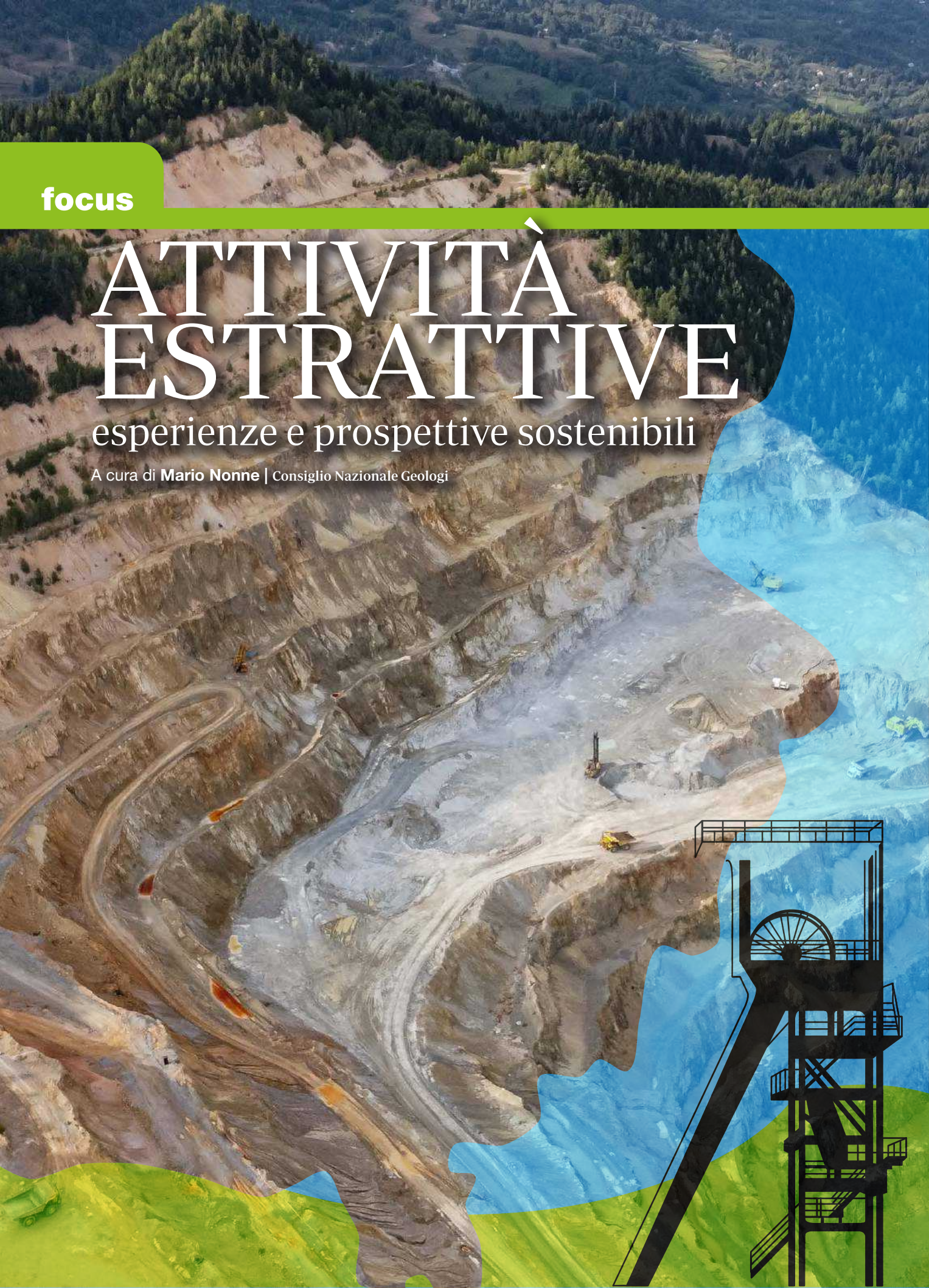
Sonda  
multiparametrica

focus

# ATTIVITÀ ESTRATTIVE

esperienze e prospettive sostenibili

A cura di **Mario Nonne** | Consiglio Nazionale Geologi







A cura di **Mario Nonne**  
Consiglio Nazionale Geologi

**L'**industria mineraria da sempre ha rappresentato un settore chiave per lo sviluppo sociale ed economico delle civiltà umane. In un mondo in trasformazione con politiche che evolvono verso una nuova economia Green, il comparto estrattivo è interessato da azioni di rilancio mirate ad uno sviluppo sostenibile e compatibile, in linea con le formulazioni della **Conferenza sul Clima (COP 26)**, tenutasi a **Glasgow in Scozia nel Novembre 2021**.

Il periodo storico travagliato con crisi Energetica, Cambiamenti Climatici in atto, Crisi Demografica nell'intero continente europeo

e **Crisi geopolitica** con la guerra di vicinato Russia -Ucraina, ha modificato le politiche programmatiche della comunità europea con una forte accelerazione delle azioni di transizione energetica che in Italia vengono attuate attraverso il PNRR. In questo contesto si evidenzia la necessità di una nuova fase di sviluppo responsabile e sostenibile dell'industria mineraria.

Considerata questa premessa, il **26 luglio del 2022 in Sardegna**, nella cittadina mineraria di **Carbonia** il **Consiglio Nazionale dei Geologi**, **l'Ordine dei Geologi della Sardegna** e il **Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche dell'Università di Cagliari** hanno organizzato il convegno "Attività estrattive esperienze e prospettive sostenibili". In questa occasione si sono articolati interventi, aperte discussioni e confronti che hanno evidenziato criticità e problematiche del settore **"Mining"** ed al contempo analizzato e proposto soluzioni sostenibili in una prospettiva di sviluppo mirata al rilancio del comparto estrattivo.

La Sardegna è il **più importante distretto minerario italiano** che ha visto a fine anni novanta la chiusura dei più significativi siti estrattivi ma che, con i vecchi depositi minerari, alcuni depositi marginali non coltivati e nuovi siti estrattivi ha ancora oggi un notevole potenziale residuo di risorse minerarie strategiche per la nazione.

Il consesso con interventi tecnici e politici ha evidenziato le azioni politiche europee, italiane e locali attuate e di prospettiva e analizzato sistemi virtuosi di coltivazione, utilizzi alternativi di **siti minerari**



**abbandonati** e risultati di ricerca sul potenziale produttivo nel campo minerario.

Tra gli interventi si è evidenziato come gli scarti di lavorazione delle vecchie miniere dell'iglesiente-arburese, oggi considerati rifiuti, presentano un potenziale residuo di minerali con percentuali medie di Zinco di 10 mg/kg, ferro di 30 mg/kg, Piombo di 2 mg/Kg e terre rare tali da poter essere considerate economicamente coltivabili. Inoltre vi sono depositi marginali alle vecchie ricerche con mineralizzazioni di Nichel, Cobalto, Bismuto, Tungsteno e più in generale terre rare pesanti che possono essere interessati da nuove coltivazioni.

Le mineralizzazioni di Fluorite, Bario, Piombo e terre rare leggere nella miniera di Genna Tres Montis/Muscadroxiu è uno dei giacimenti più grande in Europa che nella **nuova politica estrattiva** non va dimenticato insieme al potenziale tema di esplorazione per numerose mineralizzazioni simili nella Sardegna orientale e meridionale.

La realtà **mineraria attiva** della società Sarda Bentonite evidenzia un ciclo di coltivazione

virtuoso nella produzione della Bentonite, minerale che per l'80% viene utilizzato nell'industria metallurgica, per il 15% in quella cartaria e per il restante 5% nel campo dell'ingegneria civile ed altro, con **l'ottimizzazione del ciclo produttivo**. Infatti la fase di estrusione e essiccazione che in passato avveniva esclusivamente con impianti meccanizzati, con importanti produzioni di CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, DTZ incombusto è stato sostituito, ad oggi quasi totalmente, da lavorazioni, nel sito di estrazione, con essiccazione solare, possibile grazie al micro clima della Nurra, regione in cui si trova la miniera di Aliderru.

Le materie prime critiche, individuate con un apposito elenco, in evoluzione, dalla Comunità Europea sono fondamentali per l'attuazione delle **tecnologie carbon free** e sono per la quasi totalità importate dalla Comunità Europea e dall'Italia. Tra queste vi sono 29 materie prime minerarie suddivise in terre rare pesanti, terre rare leggere e minerali del gruppo del Platino. Nasce, dunque, l'esigenza di una azione programmatica che il governo italiano affronta con un organo interministeriale **"Tavolo Materie Prime Critiche"** allargato alle partecipate statali e ai portatori d'interesse.

La necessità di materie prime si scontra con una visione negativa che la società ha verso queste attività considerate fortemente impattanti e inquinanti. Questa visione può essere superata attraverso coltivazioni che si basino su nuove tecnologie e progettazioni che oltre alla quantificazione e pianificazione di utilizzo della risorsa considerino l'impatto economico, sociale e ambientale.

**Il riciclo delle materie prime** oggi nella sua massima potenzialità copre il 7% della richiesta del mercato per cui risulta imprescindibile **lo**





**sviluppo di nuove coltivazioni** e la **rigenerazione di vecchie coltivazioni** che presentano potenzialità residue. Le politiche comunitarie e nazionali oggi vogliono dipender meno dall'import e **rivitalizzare** le attività interne con una notevole prospettiva di lavoro per i geologi specializzati nel campo delle coltivazioni minerarie e da cava.

**Il focus del NEXT GENERATION EU**, con un impegno economico complessivo di 1800 MI di euro, rimane la **decarbonizzazione** e attraverso la transizione energetica impegna il 30% di questi fondi. Una svolta Epocale. All'Italia sono stati destinati 209 MI di questi circa 70 destinati alla rivoluzione verde e transizione ecologica. Si tratta di una opportunità unica che il nostro paese deve cogliere, non solo per favorire la decarbonizzazione ma anche ricavare ulteriore beneficio in termini economici come per esempio la drastica diminuzione dell'import dell'energia.

La **ricerca di nuove energie pulite** come l'idrogeno verde, di sistemi di stoccaggio efficienti, di energia derivante da fonti rinnovabili, caratterizzate da produzioni discontinue nel tempo sono un altro tema affrontato nel convegno.

Negli ultimi 10 anni gli investimenti nelle rinnovabili hanno surclassato quelli nelle fonti fossili. Oggi per finanziare progetti sul carbone, gli investitori richiedono un margine di profitto assicurato di almeno 3-4 volte superiore a quello richiesto dagli investimenti nelle rinnovabili. In questo ambito, l'utilizzo alternativo delle gallerie di miniera non più utilizzate, come quelle di Nuraxi Figus e Seruci presso Carbonia rappresentano una scelta obbligata. La partecipata regionale Carbosulcis s.p.a. ha presentato un progetto pilota, che oltre a prevedere la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili classiche (fotovoltaico e eolico), prevede un sistema di accumulo energetico nel sottosuolo attraverso lo stoccaggio di aria compressa nelle gallerie esistenti, che si sviluppano per 30Km con volumi disponibili di 100.000 m<sup>3</sup> e potenza di stoccaggio stimato di oltre 100 Mwp.

**Il convegno si è concluso** visitando un sito minerario che all'inizio del secolo scorso a rappresentato un unicum di avanguardia progettuale, efficienza economica e ambientale. Si parla di **Porto Flavia**, terminale delle attività estrattive dell'iglesiente con la costruzione di due gallerie che attraverso un **sistema di nastri pensili sulla falesia di Masua** (Iglesias) hanno permesso il trasporto dal minerale estratto con navi, cosa impossibile prima dell'inaugurazione nel 1924.

Il consiglio Nazionale dei Geologi attraverso un continuo lavoro con le proprie commissioni, progetti europei in collaborazione con la EFG e convegni di confronto e analisi sta approfondendo e proponendo soluzioni per una nuova politica sulle coltivazioni delle materie prime, con la consapevolezza che in questo campo non si può prescindere da un modello geologico contestualizzato e approfondito.

focus

Il Geologo nella Governance della

# RISORSA IDRICA.

A cura di Massimo Mannini & Giovanni Andiloro



### Massimo Mannini

Geologo libero Professionista,  
Componente Commissione area tematica  
“Risorse Idriche” del CNG.



### Giovanni Andiloro

Geologo libero Professionista,  
Componente commissione area tematica  
“Risorse Idriche” del CNG

**S**ebbene l'Italia sia un territorio potenzialmente ricco d'acqua (sia superficiale che sotterranea), la sua disponibilità non coincide con l'effettivo uso da parte della popolazione a causa della natura irregolare dei deflussi e delle carenze del sistema infrastrutturale idrico esistente.

Le risorse idriche presenti, sia come acque superficiali che come falde sotterranee si possono preservare solo conoscendone le potenzialità e le vulnerabilità. Il gap di pianificazione nel loro utilizzo, in relazione alle attività dell'uomo, sta portando ad un rapido impoverimento della risorsa idrica, spesso utilizzata in modo eccessivo, sprecata o resa inservibile a causa di diverse forme di inquinamento.

Garantire a tutti la disponibilità e la gestione sostenibile dell'acqua è anche l'obiettivo numero 6 dell'Agenda Onu 2030 per lo sviluppo sostenibile; all'acqua è dedicata la linea d'intervento M2C4 “Tutela e valorizzazione del territorio e della risorsa idrica” che fa parte della Missione 2 “Rivoluzione verde e transizione ecologica” del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).

La protezione e valorizzazione della risorsa idrica, passa attraverso azioni non strutturali di pianificazione, come il censimento delle utenze ed il monitoraggio dei corpi idrici, ed azioni strutturali di efficientamento del sistema di adduzione e distribuzione oltre che dal trattamento della risorsa acqua. Le soluzioni finalizzate ad un razionale utilizzo dell'acqua, sono basate principalmente su studi di tipo idrologico ed idrogeologico che evidenzino le caratteristiche dei corpi idrici, in particolare degli acquiferi, ne valutano le interazioni con l'ambiente e con l'uomo, indicando modelli per un utilizzo ottimale. Il ruolo del Geologo in questo contesto è di estrema importanza ed efficacia pratica. La sua figura, oltre che “sul campo”, porta a meglio definire quali possano essere le significatività e le eventuali criticità sulle linee programmatiche per la gestione dell'acqua.

A tal riguardo, si nota una certa carenza di interventi di carattere non strutturale; In particolare appare assai rilevante, la necessità di implementare le risorse economiche sui monitoraggi dei corpi idrici. I monitoraggi, sono strumenti fondamentali ai fini della caratterizzazione quali-quantitativa dei corpi idrici, permettendo di redigere bilanci idrogeologici ed idrologici affidabili. L'implementazione del carattere conoscitivo della risorsa, attraverso i monitoraggi e gli studi idrologici ed idrogeologici, consentirebbe di cogliere l'estrema variabilità delle precipitazioni causate dagli effetti dei cambiamenti climatici e, la loro correlazione con lo stato di salute delle risorse e riserve idriche. Inoltre,



andrebbero aggiornate ed implementate le banche dati esistenti con le attuali conoscenze idrogeologiche ed idrologiche, che unitamente ai piani di monitoraggio continui dei corpi idrici, porterebbero al raggiungimento di un adeguato livello di pianificazione e controllo della risorsa idrica.

Si osserva che gli effetti legati ai cambiamenti climatici (con particolare attenzione ad alluvioni e siccità), sono sempre più frequenti e la risposta planetaria a tali problematiche sembra non tenere il passo. La sensazione è quella che le distanze tra problematiche ed azioni di contrasto, si stiano sempre più allungando. Il nostro Paese sta attraversando una profonda crisi idrica, che da quasi due anni ci consegna, in alcuni territori, un quadro emergenziale storico. Anche le dighe, in alcune aree del territorio, sembrano conservare solo una piccola percentuale della loro capacità di invaso, evidenziando un limite del quale si dovrà tenere conto nella pianificazione a medio e lungo termine.

L'approvvigionamento idrico, nei tempi dei

cambiamenti climatici, deve necessariamente essere indirizzato a favorire procedure di adattamento alla disponibilità idrica del periodo, conservando le acque superficiali quando presenti in abbondanza, stocandole nel sottosuolo "water banking", e pianificando contestualmente l'approvvigionamento da entrambi le fonti (superficiali e sotterranee). Il Consiglio Nazionale dei Geologi, anche con il contributo della commissione risorse idriche, già da tempo sta alzando il livello di attenzione su tali tematiche. In particolare, promuovendo sempre più frequentemente il confronto con le Istituzioni e gli Enti di governance dell'acqua, al fine di stimolare ed indicare le azioni necessarie da intraprendere al fine di colmare i gap presenti nel processo di governance dell'acqua e giungere ad un livello di pianificazione e programmazione ottimale. Inoltre, si è certamente consapevoli che al fine di giungere ad una governance ottimale, risulterà necessario procedere ad una revisione della normativa attuale in tema di "acque". Basti pensare che il testo unico risale al Regio Decreto del 1933. A tal riguardo, il Consiglio Nazionale dei Geologi, ha contribuito, attraverso delle proposte emendative, alla conversione in legge del decreto 14.04.2023 "scarsità idrica", proponendo alcune modifiche di particolare rilevanza, come l'implementazione delle reti di monitoraggio dei corpi idrici e la tecnica di ricarica controllata della falda. Il Servizio Idrico Integrato è ottenuto dall'unificazione dei differenti segmenti di gestione dei servizi pubblici di captazione, adduzione e distribuzione dell'acqua per i differenti usi civili, oltre che di gestione delle fognature e depurazione delle acque reflue. A livello programmatico,





il concetto di Sistema Idrico Integrato fu introdotto a livello nazionale con la Legge n.36 del 1994, la cosiddetta “Legge Galli”, cui sono seguite differenti normative regionali di attuazione e di regolamentazione. Il principio di base della “Legge Galli” è che tutte le acque superficiali e sotterranee sono pubbliche, ed il consumo umano è prioritario rispetto agli altri utilizzi. Chiaramente, gli aspetti geologici giocano un ruolo fondamentale, principalmente nei segmenti di captazione, adduzione e distribuzione delle acque. In particolare, nei processi di revisione dei sistemi, le conoscenze geologiche risulteranno fondamentali al fine di pianificare i futuri interventi intercalandoli nei vari contesti territoriali asseconda delle peculiarità e delle potenzialità differenti, prevedendo, ove possibile, sistemi interscambiabili che siano alimentati da acque superficiali e sotterranee che andranno utilizzate asseconda delle disponibilità del periodo.

In questo contesto, la figura professionale del Geologo, oltre ad essere presente nei vari servizi pubblici di gestione (anche se non con presenze capillari), porta il suo contributo negli Osservatori Permanenti sugli utilizzi idrici, che costituisce una misura non strutturale cardine nella governance della risorsa idrica sul territorio. E' il tavolo di cooperazione e coordinamento costituito dagli Enti competenti e dai portatori di interesse del settore idrico, allo scopo di affrontare e contrastare efficacemente le situazioni di siccità e/o carenza idrica nei vari territori di competenza dei distretti.

Occorre superare la forte frammentazione degli enti coinvolti, evitare politiche e iniziative legislative non coordinate, prevedere incentivi economici e finanziari, sviluppando una maggiore consapevolezza, e forse anche una maggiore accettazione sociale, della possibilità di utilizzo virtuoso della risorsa idrica. Le tematiche geologiche, idrologiche ed idrogeologiche necessitano di essere affrontate a monte del processo di governance, al fine di indirizzare correttamente le scelte verso le peculiarità e potenzialità dei territori.

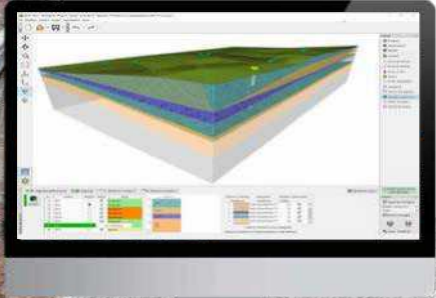
Promuovere le migliori pratiche nella tutela, gestione e consapevolezza delle risorse idriche e salvaguardare la risorsa idrica in un Paese come il nostro, è quanto meno una battaglia di civiltà, alla quale i geologi si sono ormai da tempo legati.



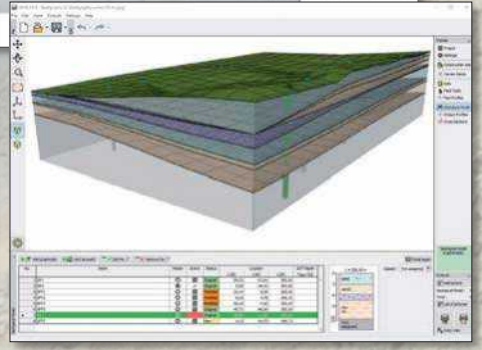
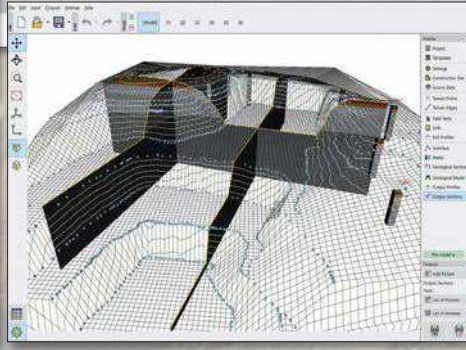
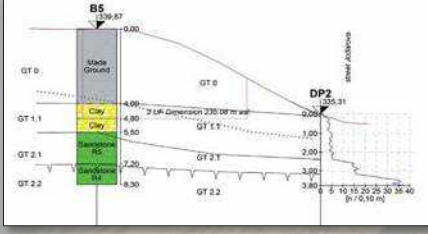
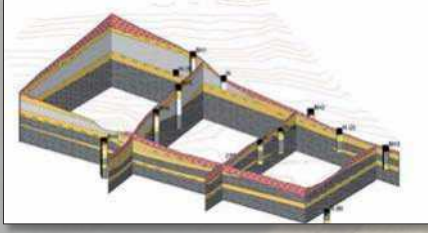
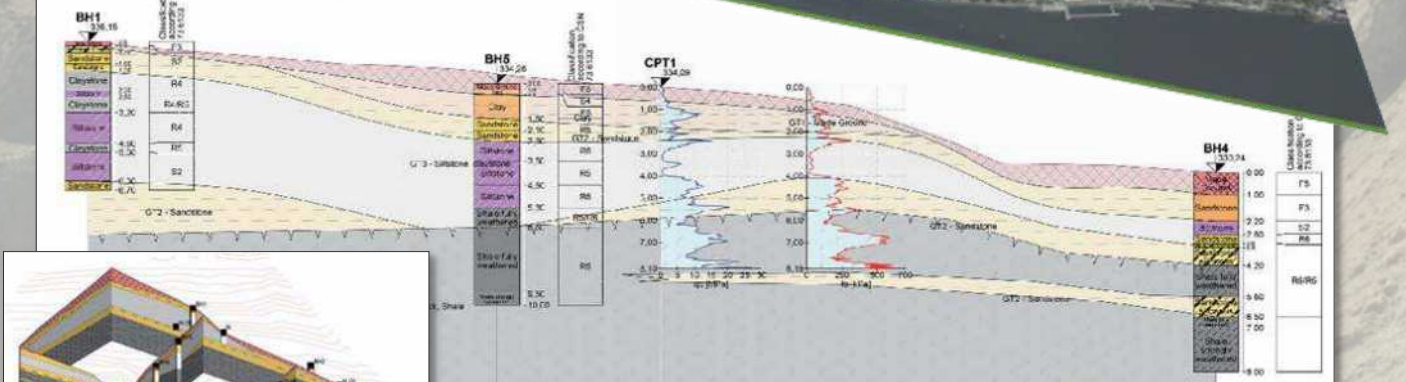
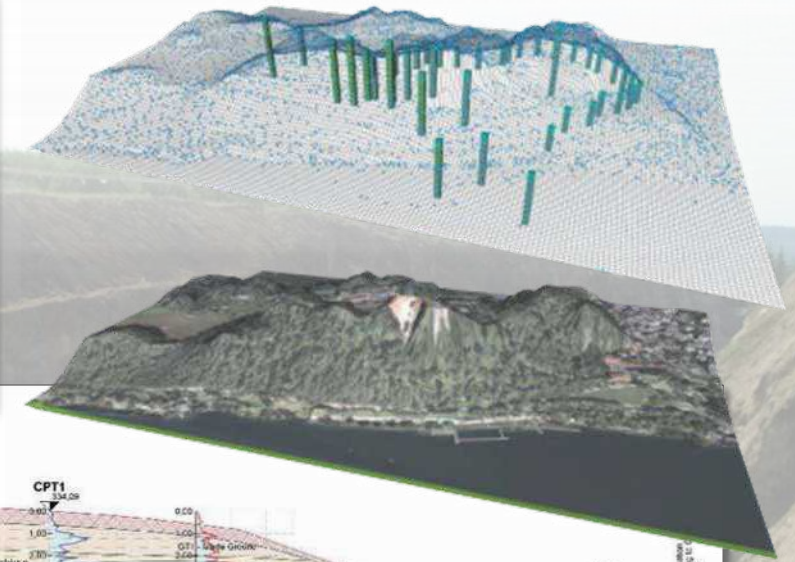
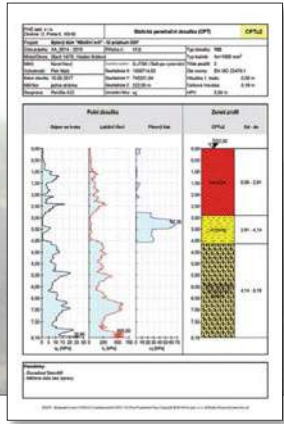
# GE05

## Il Software per la GEOLOGIA

- Modellazione 3D del terreno
- Importazione Nuvole di Punti
- Creazione Sezioni Stratigrafiche



Stratigrafia		Punti	
1	Argilla	1	100
2	Sabbia	2	200
3	Gravelli	3	300
4	Calcio	4	400
5	Argilla	5	500
6	Sabbia	6	600
7	Gravelli	7	700
8	Calcio	8	800
9	Argilla	9	900
10	Sabbia	10	1000



*Richiedi la versione DEMO dei software*

SCONTO RISERVATO



**EISEKO**  
Software for building

**EISEKO COMPUTERS S.R.L.**  
Viale del Lavoro, 17  
37036 - San Martino Buon Albergo (VR)

✉ informazioni@eiseko.it  
🌐 www.eiseko.it  
☎ +39 045 8031894

PER I LETTORI



# La Piattaforma Sinkhole e Cavità sotterranee

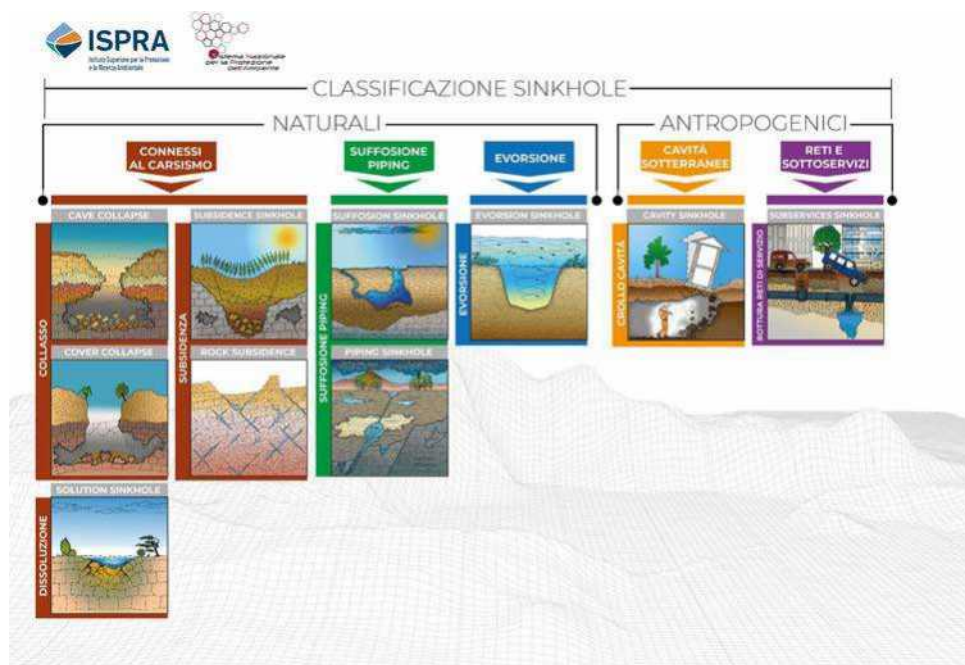
**Stefania Nisio** | ISPRA - Dipartimento Servizio Geologico d'Italia, Responsabile Sezione GEO-DIR, Supporto tecnico scientifico alla Direzione, Promozione e Divulgazione delle Scienze della terra Geo-Archeologia, Scienze Geo-Umanistiche, Geo-Antropologia

Negli ultimi quarant'anni in Italia è stato registrato un aumento dei fenomeni di sprofondamento del terreno (sinkholes).

I sinkholes si verificano in aree extraurbane, per lo più di pianura, per cause naturali connesse al contesto geologico (sinkhole naturali), ovvero in città, nelle aree più densamente urbanizzate (sinkhole antropogenici). I fenomeni naturali danno origine a voragini, che si aprono nell'arco di poche ore, generalmente di forma sub-circolare di diametro variabile da alcuni metri a poche centinaia di metri. Questi possono originare veri e propri laghi di sprofondamento, attraverso un processo di annegamento, ed evolvere la loro forma nel tempo.

L'ISPRA da molti anni ha realizzato un Database Nazionale (in linea dal 2004 consultabile alla pagina <https://sgi.isprambiente.it/sinkholeweb>) che censisce sia i fenomeni naturali che quelli antropogenici nei capoluoghi di

provincia italiani. Sono stati pubblicati molti articoli da parte dell'ISPRA e per lo più raccolti nella collana del Servizio Geologico d'Italia "Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia" (scaricabili alla pagina [www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/periodici-tecnici/memorie-descrittive-della-carta-geologica-ditalia](http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/periodici-tecnici/memorie-descrittive-della-carta-geologica-ditalia)). È stata dedicata inoltre una pagina sul sito ISPRA in cui vengono riportate le ricerche e le novità sul censimento di questi fenomeni ([www.isprambiente.gov.it/it/attivita-suolo-e-territorio/sinkholes-e-cavita-sotterranee](http://www.isprambiente.gov.it/it/attivita-suolo-e-territorio/sinkholes-e-cavita-sotterranee)). Tuttavia, sono ancora molte le problematiche che interessano questa tipologia di fenomeni, tra cui la più importante è la mancanza di linee guida specifiche per lo studio e l'intervento, la mancanza delle determinazioni e direttive regionali e nazionali per l'accertamento, la previsione e l'intervento di questi fenomeni. Solamente alcune regioni hanno provveduto a definire una normativa in proposito; la Regione Lazio ha emanato una determina regionale nel



2002, la regione Lombardia ha redatto l'ultima direttiva per gli occhi pollini pubblicata a dicembre 2022.

I sinkholes avvenuti negli ultimi anni, in ogni caso, sono stati studiati in dettaglio sperimentando nuove tecnologie di indagine e hanno portato ad una migliore interpretazione dei meccanismi genetici; quelli formati in epoca storica o remota sono stati censiti attraverso ricerche storiche e cartografiche.

Tra i meccanismi genetici, afferenti ai fenomeni naturali, il più peculiare è il deep piping ovvero l'erosione dal basso. Si tratta di un processo di suffosione profonda, che si realizza quando l'acqua all'interno dei terreni è abbondante e in pressione, riuscendo così a trovare vie di scorrimento e a provocare l'erosione attraverso la formazione di canalicoli a sviluppo sub-orizzontale e di condotti verticali lungo le linee di maggiore debolezza del territorio.

Tra le problematiche ancora aperte vi è la difficoltà di realizzare una classificazione soddisfacente dei sinkholes in base alla casistica italiana.

Tale difficoltà risiede nel fatto che lo sviluppo di tali fenomeni è spesso legato alla coesistenza di più variabili, la cui trattazione non risulta sempre di facile analisi. Molteplici sono infatti i fattori che partecipano all'evoluzione di uno sprofondamento catastrofico.

La classificazione italiana proposta da ISPRA (figura 1) divide i sinkholes in: sprofondamenti antropici (coincidenti con il termine di anthropogenic sinkhole) e sprofondamenti naturali (natural sinkhole in contrapposizione a quelli di origine antropica).

**Questi ultimi possono poi essere suddivisi in base al meccanismo genetico che li ha originati possono essere divisi in:**

- i) fenomeni carsici;
- ii) fenomeni di evorsione;
- iii) fenomeni di suffosione superficiale o di piping profondo.

E' stata predisposta da ISPRA anche una scheda per il censimento e per la raccolta delle informazioni su questi fenomeni a beneficio dei professionisti (figura 2).

I sinkholes antropogenici prevalgono nelle grandi città metropolitane, quali Roma e Napoli, e sono principalmente dovuti alla presenza di cavità sotterranee realizzate dall'uomo a vario titolo subordinatamente alle perdite dalla rete dei sottoservizi.

I vuoti sotterranei sono stati realizzati principalmente per ricavare materiali da costruzione, subordinatamente per

realizzare cunicoli idraulici e necropoli. La presenza di tali vuoti antropici ovviamente facilita l'innescio di sprofondamenti di superficie che si perpetua in molti centri urbani anche di medie e piccole dimensioni.

La necessità di realizzare delle linee guida per i professionisti e per gli esperti di settore al fine di facilitarne lo studio, identificare le aree a rischio nel territorio italiano e individuare tutte le specifiche tecniche per svolgere le analisi necessarie o gli interventi di ripristino dopo un evento di sinkhole risulta ormai impellente.

A tal proposito, in seno ad ISPRA- Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia, è stato costituito un gruppo di lavoro che sta già operando per la realizzazione di tali linee guida e che vede coinvolte alcune Università Italiane: Università di Napoli Federico II, Università di Firenze, Università della Tuscia di Viterbo, Università di Firenze, CNR-IGAG. E' stato costituito un tavolo di consultazione tra ISPRA e tutte le regioni d'Italia (Tavolo N -RISG) per la raccolta dei dati regionali da far confluire nel database nazionale.

Novità importante di quest'anno, infine, è che è stata costituita una "Piattaforma sinkhole e cavità sotterranee" in seno al Consiglio Nazionale dei Geologi (coordinata da Alessandra Biserna) che vede il coinvolgimento di geologi appartenenti agli ordini professionali italiani ed esperti del Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia.

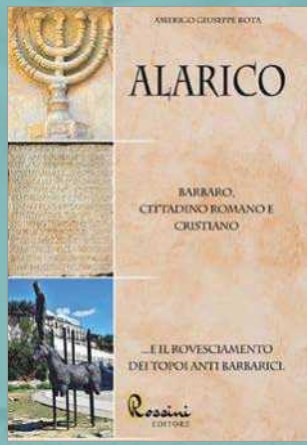
Tale piattaforma ha il compito di promuovere e divulgare la conoscenza dei fenomeni di sinkhole promuovendo corsi di formazione presso gli ordini professionali, collaborando al censimento e all'ampliamento della banca dati italiana. La piattaforma ha, inoltre, il compito di collaborare validando, approvando, e condividendo le linee guida in materia di Sinkhole e Cavità sotterranee.

La conoscenza di questi fenomeni dovrà essere diffusa all'interno del mondo dei geologi professionisti e le linee guida dovranno poter essere utilizzate in maniera semplice. ISPRA sta predisponendo una semplice app da installare sul telefonino per la segnalazione di fenomeni di sprofondamento (sinkhole naturali o antropogenici), tale app funzionerà in modo semplice a agevolerà il censimento capillare di questi fenomeni sul territorio nazionale. Basterà segnalare ed inviare una fotografia del sinkhole con le coordinate geografiche i dati raccolti verranno validati e immessi nel database.

Si chiede, inoltre, ai professionisti d'Italia di condividere con il CNG eventuali esperienze in materia di sinkhole, inviare segnalazioni, informazioni e dati che possano migliorare il Database Nazionale dei Sinkhole per la sicurezza della popolazione italiana.

PROGETTO SINKHOLE		ISPRRA		SCHEDA DI CENSIMENTO DEI FENOMENI DI SINKHOLE	
Sigla	ID Sinkhole	Data di Formazione:gg/mm/aa		h	
		Data certa <input type="radio"/> Data presunta <input type="radio"/>			
GENERALITA'					
Compilazione			Localizzazione		
Data	Regione		Provincia		
Compilatore	Comune				
	Località				
Istituzione	IGM 1:25.000 n°		Toponimo		
CTR Scala	N°	Toponimo	Utm32Long	Lat	
MORFOMETRIA E POSIZIONE					
Quota del p.c. (m)	Profondità iniziale	Profondità 3	Tipologia dell'area		
Diametro min. (m)	Data 2	Area totale A (m²)	<input type="radio"/> Valle fluviale	<input type="radio"/> Dorsale	
Diametro max. (m)	Diametro 2	Volume (m³)	<input type="radio"/> Conca intramontana	<input type="radio"/> Versante	
Diametro medio(m)	Profondità 2	Profondità del substrato	<input type="radio"/> Pianura costiera	<input type="radio"/> Centro abitato	
Profondità (m)	Data 3	<input type="radio"/> certa <input type="radio"/> presunta	<input type="radio"/> Bacino pull a part		
Diametro iniziale (m)	Diametro 3	Distanza dalla dorsale km	<input type="radio"/> Valle tettonica (graben)		
CAUSE					
Predisponenti			Innescanti		
<input type="checkbox"/> copertura con scadenti caratteristiche fisico-meccaniche <input type="checkbox"/> substrato carsificabile <input type="checkbox"/> litologia carsificabile in superficie <input type="checkbox"/> faglie / fratture preesistenti <input type="checkbox"/> materiale fratturato <input type="checkbox"/> presenza di fluidi aggressivi <input type="checkbox"/> dissoluzione chimica <input type="checkbox"/> rilevante circolazione idrica <input type="checkbox"/> acquifero in pressione <input type="checkbox"/> contrasto di permeabilità <input type="checkbox"/> filtrazione di particelle verso il basso <input type="checkbox"/> crioclastismo/termoclastismo			<input type="checkbox"/> precipitaz. eccezionali <input type="checkbox"/> alternanza di eventi alluvionali e di siccità <input type="checkbox"/> variazione rapida della superficie piezometrica <input type="checkbox"/> evento sismico <input type="checkbox"/> attività estrattive in superficie <input type="checkbox"/> attività estrattive sotterranee <input type="checkbox"/> attività agricole e pratiche colturali <input type="checkbox"/> vibrazioni		
GEOLOGIA					
Unità 1(top) Nome Formazione Profondità da m a m	Unità 2 Nome formazione Profondità da m a m	Unità 3 Nome formazione Profondità da m a m	Foglio geologico:nome Numero: Sezioni geologiche <input type="radio"/> sì <input type="radio"/> no		
Giacitura 1: immers./inclinaz.	Giacitura 2: immers./inclinaz.	Giacitura 3: immers./inclinaz.			
1 2 3 <b>Struttura</b>	1 2 3 <b>Litotecnica</b>	1 2 3 <b>Litologia</b>	1 2 3		
<input type="radio"/> massiva <input type="radio"/> stratificata <input type="radio"/> fessile <input type="radio"/> fessurata <input type="radio"/> fratturata <input type="radio"/> scistosa <input type="radio"/> vacuolare <input type="radio"/> caotica <input type="radio"/> granulata  Se necessario aggiungere i dati di altre unità su un foglio a parte	<input type="radio"/> roccia <input type="radio"/> roccia lapidea <input type="radio"/> roccia debole <input type="radio"/> detrito <input type="radio"/> terra granulare <input type="radio"/> terra granulare addensata <input type="radio"/> terra granulare sciolta <input type="radio"/> terra coesiva <input type="radio"/> terra coesiva consistente <input type="radio"/> terra coesiva poco consist. <input type="radio"/> terra organica <input type="radio"/> unità complessa <input type="radio"/> unità complessa: alternanza <input type="radio"/> unità complessa: mélange	<input type="radio"/> rocce carbonatiche <input type="radio"/> travertini <input type="radio"/> marne <input type="radio"/> flysch calcareo-mamosi <input type="radio"/> arenarie, flysch arenacei <input type="radio"/> argilli, siltiti, flysch pelitici <input type="radio"/> rocce effusive laviche acide <input type="radio"/> rocce effusive laviche basiche <input type="radio"/> rocce effusive piroclastiche <input type="radio"/> rocce intrusive acide <input type="radio"/> rocce intrusive basiche <input type="radio"/> rocce metamorfiche <input type="radio"/> rocce gessose, anidritiche, saline <input type="radio"/> rocce sedimentarie silicee	<input type="radio"/> conglomerati e breccie <input type="radio"/> detriti <input type="radio"/> terreni prev. ghiaiosi <input type="radio"/> terreni prev. sabbiosi <input type="radio"/> terreni prev. limosi <input type="radio"/> terreni prev. argillosi <input type="radio"/> terreno eterogeneo <input type="radio"/> terreno di riporto		
GEOLOGIA STRUTTURALE					
<input type="radio"/> Presenza di faglie	<input type="radio"/> Attiva	orientazione di faglie: NS EW NW-SE NE-SW NNE-SSW NNW-SSW WNW-ESE ENE-WSW	Evento sismico <input type="radio"/> sì <input type="radio"/> no	Evento alluvionale <input type="radio"/> sì <input type="radio"/> no	
<input type="radio"/> diretta	<input type="radio"/> Non Attiva		Data	Data	
<input type="radio"/> inversa	Distanza dalla faglia principale (Km)		Giorni dopo l'evento		
<input type="radio"/> trascorrente	<input type="radio"/> Presenza di fratture		Is epicentro		
<input type="radio"/> trastensiva			Is in loco		
METODOLOGIA UTILIZZATA PER LE OSSERVAZIONI		CLASSIFICAZIONE		ATTIVITA'	
<input type="checkbox"/> fotointerpretazione* <input type="checkbox"/> rilevamento sul terreno <input type="checkbox"/> monitoraggio <input type="checkbox"/> dato storico/archivio <input type="checkbox"/> segnalazione  * In caso di scelta fotointerpretazione Id_volo (rif. tabella volo_aer)  Numero strisciata Numero fotogramma		Tipologia/Meccanismo <input type="radio"/> n.d. <input type="radio"/> Antropici (anthropogenic sinkhole)  CARSICI <input type="radio"/> Solution sinkhole <input type="radio"/> Cave collapse sinkhole <input type="radio"/> Cover collapse sinkhole <input type="radio"/> Cover subsidence sinkhole <input type="radio"/> Rock subsidence sinkhole  <input type="radio"/> Piping sinkhole  <input type="radio"/> Suffusione superficiale  <input type="radio"/> Evorsione	Stato di attività n.d. <input type="radio"/> Attivo  <input type="radio"/> Annegato <input type="radio"/> Ricolmato <input type="radio"/> Riattivato  <input type="radio"/> Migrato  Evoluzione morfometrica <input type="radio"/> costante <input type="radio"/> in allargamento <input type="radio"/> in diminuzione	Velocità di formazione <input type="radio"/> molto lento  <input type="radio"/> lento <input type="radio"/> rapido  <input type="radio"/> estremamente rapido  Stadio evolutivo <input type="radio"/> Giovane <input type="radio"/> Maturo <input type="radio"/> Senile <input type="radio"/> @sinto	Stile <input type="radio"/> singolo <input type="radio"/> gemellato <input type="radio"/> multiplo





**ALARICO**  
di Amerigo Giuseppe Rota

Recensione di  
**Alessandro Reina**

**Tra** l'attenta ricostruzione storica e la descrizione del potente mistero della posizione della Tomba di Alarico, con annesso tesoro, si incastona una corposa e mirabile ricerca geologica sui luoghi del possibile prezioso ritrovamento.

Al centro del Saggio storico dell'Autore c'è la Calabria, terra per la quale traspare evidente la complicità dell'Autore e per la quale esprime tutta la voglia di far risaltare i drammi, i misteri e la bellezza.

La parte geologica della ricostruzione storica è condotta con meticoloso metodo scientifico: vengono presentati i risultati delle tecniche geologiche tradizionali (rilevamento geologico e lettura delle carte) e di quelle tecnologicamente più avanzate (indagini geofisiche, immagini Lidar).

Forse trasportato alla scoperta per via del suo nome, l'Autore si imbatte in una esplorazione di dati, luoghi, testi antichi fornendo un accurato documento intriso di passione. Come tutti gli attenti ricercatori pone solo delle ipotesi sulla posizione della Tomba: a circa 4 km dalla Consolare Popilia, all'intersezione tra il fiume Acheronte e i flussi salutiferi. Ma non vorrei togliere la sorpresa.

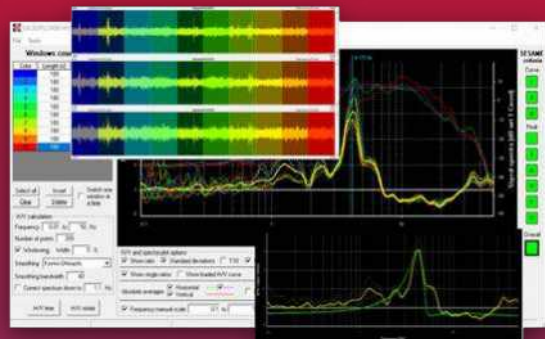
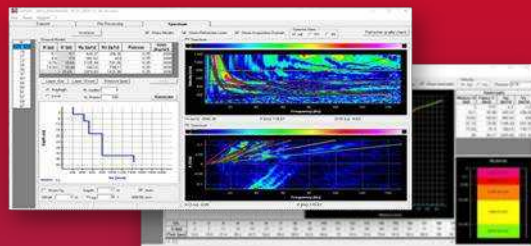
Ottimo lavoro di ricerca e scrittura semplice e comprensiva.



# Tecnologie per la geofisica.

## MASW

Il modulo GE MASW è progettato per essere di **facile utilizzo** permettendo il caricamento di un dataset anche complesso, acquisito con il sismografo doremi, con **un solo click**. L'utente ha il **completo controllo** sul dataset e sugli strumenti di elaborazione, come filtri, detrending e muting, il **refraction quality check** e i tool per la modellazione.

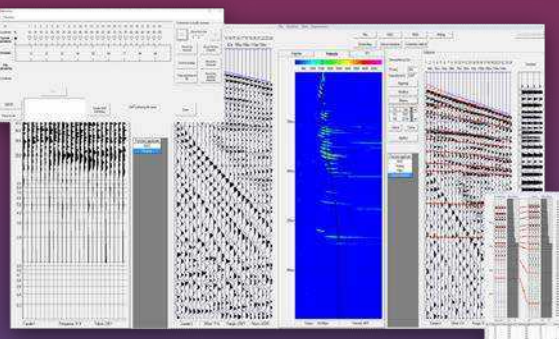
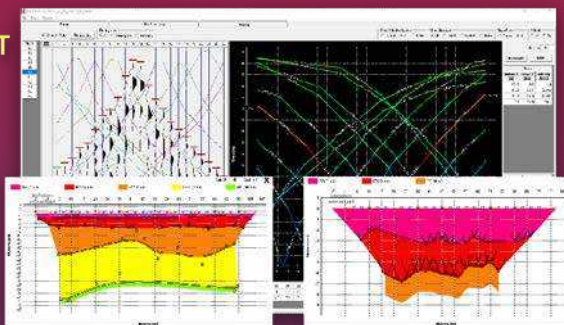


## HVSR

Il programma consente di elaborare i dati HVSR molto rapidamente. L'innovativa analisi **ACUSTICA** per il quality check, la validazione automatica della  $f_0$  selezionata secondo i criteri **SESAME** ed i tool di validazione del picco, permettono una interpretazione e modellazione del dato robusta ed affidabile.

## REFRACT

Il modulo GE Refract include diversi strumenti per migliorare il rapporto segnale/rumore. È possibile elaborare i dati con la tecnica delle **intercette** e il **GRM** per sezioni **2D**. Il software consente di **estrarre modelli 1D** dalle sezioni per verificare il modello con altre tecniche e impostare **punti personalizzati nella sezione 2D** per confrontarli con i dati geotecnici.

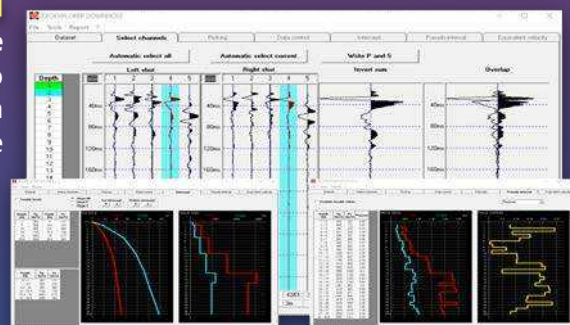


## MARW

MARW sta per "Multichannel Analysis of Reflected Waves". È uno strumento innovativo basato sulla consolidata metodologia di riflessione sismica. Il MARW consente l'analisi sismica di **riflessione 1D** per i profili sismostratigrafici, in contesti geologici in cui le tecniche classiche hanno difficoltà nell'identificare il **basamento roccioso**. Il software consente di generare **sismostratigrafie profonde** che non possono essere generate da altre tecniche e possono essere uguali o superiori alla lunghezza della linea sismica.

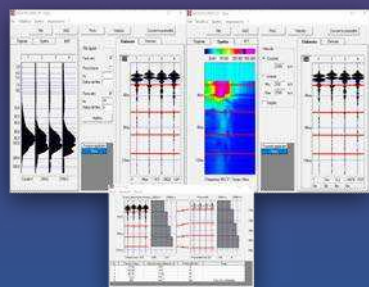
## DH

Il modulo GE DH elabora i dati donwhole e consente di **correggere** eventuali **errori di triggering** analizzando il geofono di controllo superficiale. Il software gestisce la tecnica delle **intercette** e la tecnica dello **pseudo-intervallo**, restituendo **modelli 1D** che possono essere utilizzati per calcolare la  $V_{s30}$ .



## SSV

Il modulo GE SSV è progettato per identificare **possibili bacini idrici** tramite la tecnica di **riflessione near vertical**. Lo strumento genera un modello 1D grazie al profilo di velocità fornitogli, per stimare la profondità dei livelli di interesse.

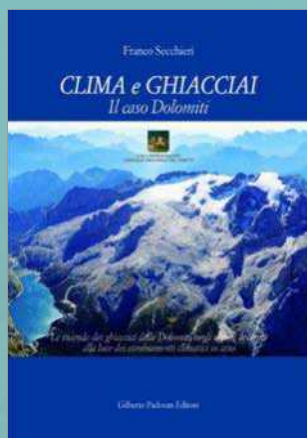


Sono disponibili ulteriori moduli. Visita il nostro sito.

[www.sara.pg.it](http://www.sara.pg.it)

Via Angelo Morettini, 11 06128  
+39 075 5051014





## Clima e ghiacciai: il caso Dolomiti

di Franco Secchieri

Editore: Gilberto Padovan - Vicenza

Recensione di

**Franco Secchieri** | Glaciologo - scrittore

Il libro affronta una tematica di estrema attualità relativa ai cambiamenti climatici in atto e alle conseguenze sui ghiacciai, delle Dolomiti in particolare. In tale contesto i ghiacciai rappresentano uno dei più importanti aspetti delle modifiche dell'ambiente a causa della intensa riduzione cui sono sottoposte tutte le masse gelate del Pianeta dai ghiacciai alpini alle grandi calotte polari.

In questa fase sono coinvolte anche le Dolomiti, che sono patrimonio dell'Unesco assieme ai loro ghiacciai. Una ricchezza che va sempre più velocemente scomparendo sotto le ingiurie di un clima via via più ostile.

Per documentare quello che sta succedendo al patrimonio glaciale delle nostre montagne Franco Secchieri ha raccolto in un libro le più belle fotografie dei ghiacciai e glacionevati delle Dolomiti, frutto di un lavoro di studio e ricerca da me svolto anche in collaborazione con la Regione Veneto a partire dagli anni '80. Dal confronto tra immagini prevalentemente aeree eseguite durante i miei voli di ricognizione è nato un documento eccezionale che testimonia il cambiamento dei paesaggi d'alta quota che stanno ormai scomparendo. Si tratta di una importante testimonianza consegnata alla memoria dei giovani e futuri alpinisti o di semplici amanti della montagna.

Nel libro sono riportate le modifiche di tutte le masse gelate presenti in vari gruppi dolomitici: dalla Marmolada, al Civetta, dalle Pale di San Martino al Cristallo, dalle Tofane al Sorapis. Si compone di circa 200 pagine, con una prima parte di notizie generali e illustrative delle problematiche glaciologiche, ed una seconda parte con la raccolta di immagini, tutte commentate,



## INDICE

### PARTE PRIMA

- *Dal Delta del Po ai ghiacciai delle Alpi*
- *La mia esperienza sui ghiacciai*
- *Cos'è un ghiacciaio -  
Clima e i ghiacciai*
- *Il ghiaccio, un artista che ha  
modellato il Pianeta*
- *I precedenti studi glaciologici sulle  
Dolomiti*
- *Sul concetto di sito glaciogeno -  
Permafrost e rock glacier*
- *Le frane*
- *I ghiacciai delle Dolomiti ieri oggi  
domani*

### PARTE SECONDA

#### *I Gruppi montuosi ed i loro ghiacciai*

- ANTELAO
  - CADINI CIVETTA
  - CRISTALLO
  - CRODA ROSSA
  - MARMAROLE
  - MARMOLADA
  - MARMOLADA Vernale -  
Cima Uomo
  - PALE DI SAN MARTINO
  - PELMO
  - POPERA
  - SASSOLUNGO
  - SELLA
  - SORAPIS
  - TOFANE CIMA
  - D'ASTA
- Arrivederci*

suddivise per gruppi. Le immagini sono assolutamente originali anche per il tipo di prospettiva (aerea) con cui sono state riprese. Come glaciologo Franco Secchieri ha avuto l'opportunità di seguire l'evoluzione dei ghiacciai alpini, operando per diverse Amministrazioni pubbliche ed Enti privati.

Già componente della Commissione Valutazione Impatto Ambientale del Ministero dell'Ambiente ed in precedenza per quella della Regione Veneto, ho fornito consulenze e studi per varie regioni tra cui il Veneto, la Valle d'Aosta, il Piemonte, la Provincia Autonoma di Bolzano e per società come l'ENEL, principalmente per seguire l'evoluzione delle masse gelate e il loro rapporto con l'idrografia.

E' membro del Comitato Glaciologico Italiano per il quale ha elaborato il nuovo catasto dei ghiacciai italiani sulla base delle indicazioni del World Glacier Inventory (UNESCO).

Nel 1992 ha fondato il Servizio Glaciologico del CAI Alto Adige di cui attualmente è il curatore scientifico.

Nella sua lunga carriera (oltre 40 anni) ha potuto raccogliere una grandissima quantità di dati e di immagini, soprattutto aeree, relative agli ambienti glaciali. Ha avuto l'opportunità di analizzare a fondo le problematiche glaciologiche dell'intero arco alpino, valutandone le conseguenze generate dalle modifiche legate al cambiamento climatico in atto, con una specifica attenzione ai bilanci idrologici dei bacini.

Riguardo alle Dolomiti - in particolare, il suo archivio fotografico costituisce una testimonianza oramai storica della evoluzione del paesaggio glaciale e periglaciale di quelle montagne.

In tale ambito ha avuto l'opportunità di scrivere testi scientifici, pubblicazioni ed anche due guide con la descrizione dei sentieri glaciologici della Val Martello (Ortles - Cevedale).

Questo suo ultimo libro è una specie di racconto fotografico di come sono cambiati i paesaggi glaciali dolomitici mettendo a confronto a distanza di decenni le masse gelate presenti nei principali gruppi: dalla Marmolada all'Antelao, dal Sorapis alle Pale di San Martino, dal Sella al Sasso Lungo, dalla Civetta al Cristallo. Ne è risultata una testimonianza unica e irripetibile delle modifiche che stanno subendo le nostre montagne da trasmettere ai futuri frequentatori.

Il libro ha avuto anche il patrocinio della fondazione DOLOMITI UNESCO e della presidenza del Consiglio Regionale del Veneto.





• **SISMOGRAFI**

• **HVSR**

• **TOMOGRAFIA ELETTRICA**

• **GEORESISTIVIMETRI**

• **ENERGIZZATORI SISMICI**

• **IDROFONI**



Seismograph  
ECHO 48/2014 Seismic Unit - 24bit



Seismograph  
ECHO 24/2010 Seismic Unit - 24bit



ECHO Tromo HVSR3 - 24bit



Mangusta MC 24-120E  
Geoelectrical Tomography Equipment



Resistivity Meter Datares-10



3D/5D - 3D Twin Borehole Geophone



PIS Wave Borehole Energy Source



Borehole Deviation Probe



Diamo il benvenuto  
ad una nuova idea  
di futuro.

# Electric



PRECISION



ENERGY  
OPTIMIZATION



LOW  
NOISE



ZERO

ZERO  
EMISSION



EGEO 405 è la prima macchina per sondaggi completamente elettrica. L'utilizzo di motori elettrici garantisce le migliori performance energetiche, raggiungendo un livello di efficienza mai visto prima con un controllo di precisione su tutte le funzioni. Il pacco batterie prevede modalità di ricarica flessibili che coprono l'intero ciclo di lavoro. **Zero emissioni di gas, zero perdite di carburante e lubrificante, zero rumore, massimo impegno per l'ambiente.**



Guarda il video:  
Deep Electric.



COMACCHIO

# L'acquedotto dell'imperatore Traiano per il porto di *Centumcellae*, oggi Civitavecchia, nel contesto ambientale dei Monti della Tolfa, Italia centrale

**Ugo Chiocchini** | Già professore di Geologia applicata, Università degli Studi della Tuscia

**Fedele Manna** | Già professore di Chimica farmaceutica e tossicologica, Sapienza Università di Roma

**Luigi Portoghesi** | Professore di Pianificazione forestale, Dipartimento per la Innovazione nei Sistemi Biologici, Agro-alimentari e Forestali, Università degli Studi della Tuscia



**Termini chiave:** Acquedotto, Traiano, *Centumcellae*, Monti della Tolfa, Sorgente, Galleria di drenaggio

**Keywords:** *Aqueduct, Traiano, Centumcellae, Tolfa Mountains, Spring, Drainage tunnel*

## Riassunto

L'acquedotto costruito da Traiano per il porto di *Centumcellae* nel 102 - 110 A.D., lungo 35,5 km, è ubicato nei Monti della Tolfa con morfologia collinare e costituiti in gran parte dal Flysch della Tolfa argilloso-calcareo (Cretacico superiore-Eocene) e dalle lave ricche in silice dell'Unità di Allumiere (Pliocene superiore-Pleistocene inferiore), subordinatamente dalle argille dell'Unità del Fosso di San Savino (Zancleano). Il Complesso delle lave è un acquifero sostenuto dai complessi del Flysch e delle argille caratterizzati da un grado di permeabilità relativa molto basso o nullo, suddiviso verticalmente e lateralmente in compartimenti con grado di permeabilità relativa da medio alto a basso, separati dal *limite di permeabilità* indefinito, e da corpi idrici sospesi a quote differenti di limitata estensione, che emergono in sorgenti minori con portata < 1 l/s e maggiori con portata > 5 l/s. Le sorgenti maggiori Cinque Bottini e Trinità sono state captate dai tecnici romani mediante i cunicoli drenanti. ACEA Ato 2, che gestisce le due sorgenti, non ha consentito l'accesso per controllare la portata, la temperatura, e i parametri chimico fisici dell'acqua. Pertanto, i dati della letteratura

indicano che nel 1693 la portata di aprile è diminuita da 17,5 a 9,5 l/s di agosto, nel 1742 e 1761 mostra valori compresi tra 11,25 e 13-15 l/s, e nel 1953 raggiunge il valore più basso (7,5 l/s). L'indagine sui primi 6 km dell'acquedotto evidenzia che il canale costruito in calcestruzzo ha pendenza media 0,44 %. La cisterna dell'acquedotto, interrata circa 800 m a monte del porto di *Centumcellae*, comprende due vani rivestiti di malta idraulica e comunicanti mediante un tubo di piombo. Ciascun vano ha un volume netto di 593,9 m<sup>3</sup>: uno con funzione di piscina limaria ("b"), l'altro come serbatoio ("a"). L'acquedotto, sottoposto a sostanziali lavori di restauro dal Papa Innocenzo XII nel 1756-1758, ha funzionato fino alla fine degli anni Cinquanta.

## Summary

*The aqueduct built by Traiano for the port of Centumcellae in 102 - 110 A.D., 35.5 km long, is located in the Tolfa Mountains with hilly morphology and made up largely of the clayey-calcareous Tolfa Flysch (upper Cretaceous-Eocene) and lava rich in silica of the Allumiere Unit (upper Pliocene-lower Pleistocene), subordinately the Torrent of San Savino Unit clays (Zanclean). The Lava complex is*

an aquifer supported by the Flysch and Clay complexes with degree of relative permeability from very low to zero, vertically and laterally divided into compartments characterized by medium high to low degree of relative permeability, separated by an indefinite permeability limit, and perched water bodies at different altitudes of limited extension, that emerge in minor springs with a yield < 1 l/s and major ones with a yield > 5 l/s. The major springs Cinque Bottini and Trinità were captured by the Roman technicians through the drainage tunnels. ACEA Ato 2, that manages the two springs, did not allow access to check the yield, temperature, and chemical physical parameters of the water. Therefore, the literature indicates that in 1693 the yield decreased from 17.5 in April to 9.5 l/s in August, in 1742 and 1761 it shows values between 11.25 and 13-15 l/s, and in 1953 it reaches its lowest value (7.5 l/s). The investigation of the first 6 km of aqueduct shows that the canal built in concrete has an average slope of 0.44%. The terminal cistern of aqueduct, buried about 800 m upstream of the port of Centumcellae, includes two rooms lined with hydraulic mortar and communicating by means of a lead pipe. Each room has a net volume of 593.9 m<sup>3</sup>: one with the function of a piscina limaria ("b"), the other as a reservoir ("a"). The aqueduct, subjected to substantial restoration work by Pope Innocenzo XII in 1756-1758, operated until the end of the 1950s.

## Introduzione

Gli acquedotti con struttura architettonica sopraelevata e le leggi fisiche che le governano costituiscono una tipica espressione dell'ingegneria romana, di cui restano evidenti testimonianze monumentali sia in Roma e in tutto il territorio dell'impero, sia nei testi di Sesto Giulio Frontino (40 circa - 103/104 A.D.) e Marco Vitruvio Pollione (circa 80 a.C. - circa 15 A.D.).

Frontino nel 97 A.D. ottenne dall'imperatore Nerva l'incarico di *curator aquarum*, cioè il magistrato addetto all'uso e alla distribuzione dell'acqua, e scrisse il testo *De Aquaeductu urbis Romae*, in cui descrive il rifornimento dell'acqua nella città di Roma. Si tratta di un testo che non è un trattato sulla tecnologia idraulica, ma un manuale per programmare il lavoro di Frontino. L'Autore descrive gli acquedotti esistenti<sup>[1]</sup>, la posizione delle sorgenti, il tipo di strutture murarie, la portata di ciascuna di esse,

1 Quando Frontino scrisse il testo, gli acquedotti di Roma erano: Aqua Appia (312 a.C.), Anio Vetus (270 a.C.), Aqua Marcia (144 a.C.), Aqua Tepula (125 a.C.), Aqua Iulia, (33 a.C.), Aqua Virgo (19 a.C.), Aqua Alsietina (2 a.C.), Anio Novus (38 A.D.), Aqua Traiana (109 A.D.).

la quantità di acqua distribuita per ogni servizio pubblico e privato, il sistema standard dei tubi, le leggi, le ordinanze del Senato, ed il controllo dell'imperatore.

Vitruvio, il grande maestro e ingegnere (*magister et machinator*), nel suo testo *De Architectura* illustra gli aspetti tecnici generali delle costruzioni, compresi gli acquedotti. Il testo è frutto dell'esperienza dell'Autore ed è stato scritto quando l'arte del costruire aveva raggiunto la perfezione con il massimo potenziale dell'ingegneria romana, che usava solo il legno, le rocce, la terracotta, la malta con calce, e la forza degli animali.

I resti più importanti degli acquedotti si trovano a Roma in Italia, a Segovia in Spagna, a Colonia in Germania, ed in molti altri siti dell'area mediterranea. La tecnica costruttiva è molto simile per la maggiore parte degli acquedotti e le differenze sono di natura più strutturale che idraulica. Per costruire un acquedotto era necessario innanzitutto trovare una sorgente con portata rilevante, i cui metodi di ricerca sono quelli descritti nel Libro VIII (I. Come reperire l'acqua; II. L'acqua piovana; III. Qualità particolari dell'acqua) del *De Architectura* di Vitruvio, e, in particolare, in base alla verifica della salubrità dell'acqua (VIII, IV, 1): "se le sorgenti scorrono all'aperto, prima di iniziare la canalizzazione si osservi per bene l'aspetto fisico di coloro che abitano nei dintorni e se avranno una valida corporatura, un colorito fresco, gambe sane, occhi non cisposi, l'acqua sarà ottima. E qualora si scavi una nuova fonte, se l'acqua versata in un vaso corinzio o in un altro di buona lega di bronzo non lascerà alcuna macchia, sarà di ottima qualità", e persino "facendo cuocere i legumi avremo conferma della sua bontà e salubrità se la cottura avverrà in tempi rapidi" (VIII, IV, 2). Spettava poi ad un tecnico fornire la decisione finale sulla qualità dell'acqua. Posto che la sorgente doveva avere una portata elevata, il problema principale era di definire le proprietà organolettiche dell'acqua per stabilire se poterla usare in modo conveniente. Circa le modalità di captazione delle sorgenti si dispone di pochissime notizie, come rilevato da Ashby (1935)<sup>[2]</sup> ma gli acquedotti Aqua Marcia, Aqua Claudia, Aqua Appia, Aqua Virgo, e Anio Novus in Roma (Pace, 2010) indicano che le opere di presa erano di diverse tipologie. Le vene di acqua che emergevano in superficie erano raccolte dentro una vasca in muratura, impermeabilizzata con malta idraulica (*opus signinum*)<sup>[3]</sup>, dalla quale l'acqua scorreva

2 "So little is known about the type of catchment on the Rome aqueducts that no general rule can be established for them".

3 *Opus signinum* è una malta composta da calce e pozzolana

in una vasca di decantazione (*piscina limaria*) connessa al canale di presa, e successivamente dentro il canale dell'acquedotto (*specus*). In generale, la *piscina limaria* era una semplice espansione del canale dell'acquedotto lungo il suo tracciato, oppure un serbatoio laterale in cui l'acqua, diminuendo la velocità, consentiva la decantazione delle particelle in sospensione e di altre impurità. La seconda soluzione era più vantaggiosa perché permette la deposizione delle particelle senza interrompere il flusso dell'acqua.

La necessità di approvvigionamento di acqua per la popolazione e lo scalo marittimo di *Centumcellae* (oggi Civitavecchia), in base al progetto di Apollodoro di Damasco, indusse l'imperatore Traiano ad iniziare grandiosi lavori per la costruzione di un acquedotto avvenuta nel periodo 102 - 110 A.D. Pertanto, i tecnici romani, allo scopo di assicurare acqua di buona qualità ed in quantità idonea, realizzarono l'opera idraulica, lunga circa 35,5 km e con pendenza minima lungo tutto il tracciato, che si svolge seguendo i contorni morfologici delle colline dalla zona delle sorgenti presso Allumiere fino al porto di Civitavecchia, mediante segmenti sopraelevati, interrati e in galleria, e ponti per scavalcare i numerosi corsi d'acqua.

Frangipani (1761), descrivendo l'acquedotto di Civitavecchia, fornisce dati molto dettagliati sulle due sorgenti che lo alimentavano: quelle del passo della Vecchia (= Cinque Bottini), raggruppate nella Botte della Sibilla al piede della Cava Vecchia dell'Allume, con portata 18 oncie (1 oncia = 0,25 l/s; 18 oncie = 4,5 l/s); le tre sorgenti alla base dell'eremo della Trinità con portata 27 oncie (6,75 l/s). Questo secondo gruppo si unisce alla prima sorgente con portata totale 45 oncie (11,25 l/s). Nel 1696 la portata totale era 60 oncie grosse (15 l/s). Inoltre, lungo il tracciato dell'acquedotto sono presenti alcune gallerie, in particolare la galleria di Monte Rovello lunga mezzo miglio (740 m) e alta 60 palmi (1 palmo = 0,0741 m; 60 palmi x 0,0741 = 4,446 m), diversi ponti, conserve, chiusini, botti. Infine, gli ulteriori lavori di restauro dell'acquedotto eseguiti nel periodo 1756 - 1758 ad opera del Papa Innocenzo XII<sup>[4]</sup>, hanno interessato le

in cui erano immersi frammenti lapidei, oppure derivati dallo sfrido di mattoni e tegole.

**4** I progetti di questi lavori sono raffigurati in due celebri stampe riportate in D'Ascenzo (2015). La prima è opera di Cintio Floro e Alessandro Specchi nel 1695 con titolo *Pianta del nuovo aquedotto che conduce l'acqua a Civita Vecchia fabricato in parte sopra le rovine dell'antico costruito da Traiano imperatore* (Stamperia Domenico De Rossi, Roma). La seconda è opera dell'ingegnere Carlo Fontana con il titolo *Veduta De Nuovi Acquedotti di Civitavecchia Delineata dall'Ingegnere Carlo Fontana e Data in Luce nel Corrente Anno 1699* (in Roma, nella Calcografia della R.C.A. Piè di Marmo, Pietro Santi Bartoli incisore, 1699).

strutture oggetto dell'intervento del 1696, mentre quelle originali costruite da Traiano sono rimaste in gran parte "illese e bene conservate".

Gamurrini et al. (1972) evidenziano che l'inizio dell'acquedotto si trova alla base del rilievo collinare dell'eremo della Trinità, dove è presente un grande bacino ad *em-plecton* interrato. L'acquedotto procede con il tracciato che scavalca alcuni fossi.

Secondo Brunori (1990) la portata dei due gruppi di sorgenti misurata nel 1693 è di 70 oncie (1 oncia = 0,25 l/s; 17,5 l/s) in aprile, e 38 oncie (9,5 l/s) in agosto (Padrone, 1695)<sup>[5]</sup>. Nel 1742 sono misurate 52 oncie (13 l/s), diminuite nel 1953 a 30 oncie, pari a 600 m<sup>3</sup>, (7,5 l/sec). Il tracciato del canale, largo 0,60 m e alto 1,40, si snoda lungo circa 24 miglia romane (1 miglio = 1,480 km x 24 = 35,5 km) con pendenza dell'1% fino alla città di *Centuncellae* scavalcando 73 corsi d'acqua con altrettanti ponti. L'Autore, in accordo con Frangipani (1761), ritiene che sia stato necessario scavare alcune gallerie, di cui la più lunga è quella di M. Rovello. L'acqua, che si depura nelle *piscinae limariae*, si riversa nel *castellum aquae*, cioè due cisterne comunicanti interrate con capacità di oltre 1000 m<sup>3</sup>, e da questo giunge al porto.

Di Giulio (2014) e D'Ascenzo (2015; 2020) descrivono l'acquedotto e le cisterne riprendendo le indicazioni di Brunori (1990).

Gli studi precedenti sull'acquedotto non sono supportati da riferimenti (i) al contesto geologico e idrogeologico del territorio dei Monti della Tolfa in cui è ubicato l'acquedotto di Traiano, (ii) alla tipologia delle opere di presa delle sorgenti, (iii) alla reale funzione della cisterna terminale dell'acquedotto. Pertanto, la presente ricerca, svolta nell'ambito dell'attività dell'Associazione Nazionale per gli Interessi del Mezzogiorno d'Italia (ANIMI) - Società Magna Grecia in relazione al lavoro interdisciplinare per lo studio dei siti archeologici e del loro contesto ambientale, nell'ottica di migliorare le conoscenze sulla costruzione delle terme romane, ha utilizzato le tecniche della Geoarcheologia (Rapp & Hill, 1998; Pollard, 1999; Ghilardi & Desruelles, 2009; Shahack-Gross, 2017; Gilbert, 2017; Gençer & Turan, 2017; Cortéz Pérez et al., 2018; Shillito et al., 2019) allo scopo di illustrare: (i) il contesto geologico e idrogeologico del territorio dei Monti della Tolfa, con particolare riferimento alle sorgenti Cinque Bottini e Trinità che alimentavano l'acquedotto di Traiano; (ii) le

**5** Si evidenzia che il testo "Padrone F. (1695) *Sopra la condotta dell'acqua a Civitavecchia, Roma*" riportato nei Riferimenti bibliografici di Brunori (1990) non è reperibile.

opere di presa delle due sorgenti; (iii) il tracciato iniziale dell'acquedotto (fino a 6000 m dalle sorgenti); (iv) la funzione della cisterna terminale dell'acquedotto.

### Materiali e metodi

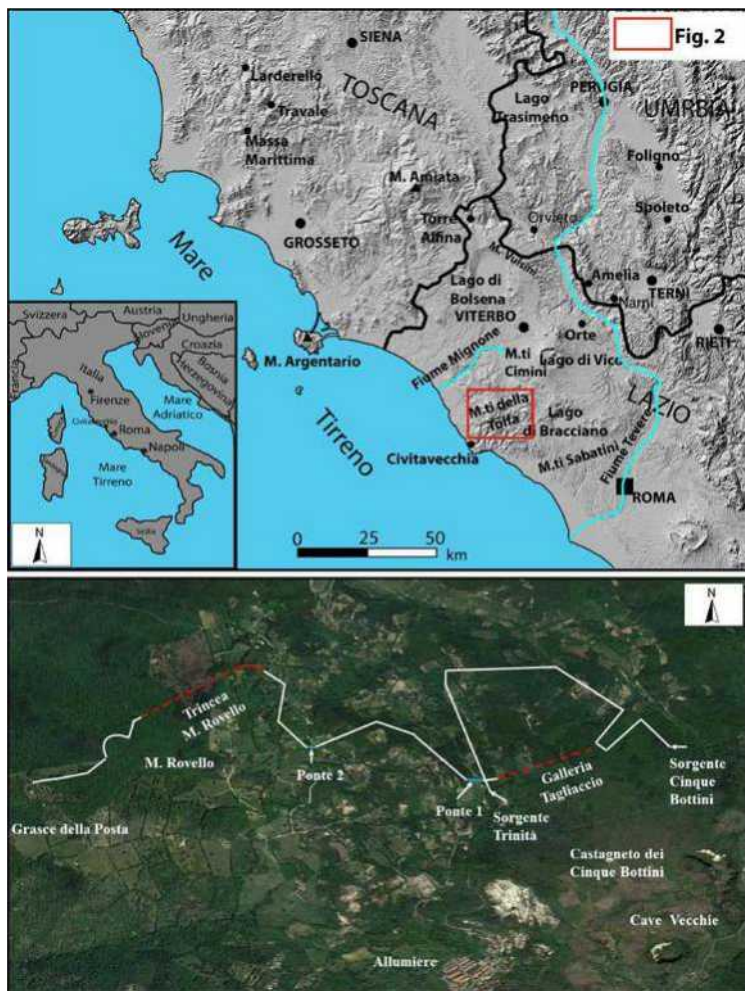
Le operazioni della ricerca sono state sviluppate in quattro fasi. La prima fase è stata dedicata alla acquisizione dei dati di seguito riportati. Presso l'Agenzia Regionale di Protezione Civile – Area Prevenzione, Pianificazione e Prevenzione – Centro Funzionale Regionale, che ha fornito i valori relativi alle temperature e alle precipitazioni dei periodi 1964 - 2011 e 2015 - 2021 della stazione termopluviometrica di Allumiere (534 m s.l.m.; coordinate WGS 84 DMS: 42° 09'28,00" N; 11° 54' 31,40"). I valori della temperatura e delle precipitazioni degli anni 1998, 2012, 2013, 2014 mancano perché la stazione non ha funzionato, e i valori della temperatura massima e minima di cinque anni (1969, 1976, 1977, 1992, 2001) non sono registrati. La serie dei valori della temperatura media mensile e annuale, massima e minima, e quella delle precipitazioni medie mensili e annuali in formato "txt" e "csv" relative ai periodi 1964 - 2011 e 2015 - 2021 sono state elaborate in ambiente Excel anche per determinare i parametri statistici (media aritmetica, scarto quadratico medio, coefficiente di variazione, scarto quadratico medio della media aritmetica.) Inoltre, l'interpolazione dei dati di temperatura e precipitazioni mediante i minimi quadrati, ottenuta con scopi puramente descrittivi, ha consentito di definire la curva di regressione e il coefficiente di determinazione, di modo che è stato possibile fornire il probabile andamento della temperatura e delle precipitazioni per il prossimo decennio. Le stratigrafie dei pozzi del territorio comunale di Allumiere sono state acquisite presso il Dipartimento III "Ambiente e Tutela del Territorio: Acqua-Rifiuti-Energia-Aree Protette" Servizio 2 - "Tutela risorse idriche, aria e energia" (D III) della Città Metropolitana di Roma Capitale, e presso il Portale del Servizio Geologico d'Italia (SGI) dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA). Al riguardo si evidenzia che sono risultati disponibili un pozzo di D III, non idoneo ai fini della ricerca, e cinque pozzi di SGI, di cui tre utili.

Nella seconda fase è stato eseguito il rilevamento geologico sia dell'area tra Tolfa-Allumiere e la valle del F. Mignone, utilizzando le tavolette dell'Istituto Geografico Militare (IGM) I SE La Farnesiana e II NE Tolfa del Foglio 142 Civitavecchia, IV SO Civitella Cesi del Foglio 143 Bracciano (scala 1: 25.000), sia della zona delle sorgenti e del tracciato

iniziale dell'acquedotto di Traiano mediante gli elementi 363032 Allumiere, 363031 La Farnesiana, 363043 Tolfa, 36044 Monte Sassicari della Carta Tecnica della Regione Lazio (CTR) in scala 1: 5000, secondo la normativa della del Servizio Geologico Nazionale (1992; 1994) e dell'ISPRA-Difesa del Suolo-Servizio Geologico Nazionale (2009). Per la nomenclatura delle formazioni è stata utilizzata quella ufficiale della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000 dei fogli 355 Ronciglione (ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia, 2016), 344 Tuscania, 345 Viterbo, 353 Montalto di Castro, 354 Tarquinia (ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia in attesa di stampa). Il colore delle rocce delle formazioni è stato determinato mediante la Rock - Color Chart (Geological Society of America, 1991). Inoltre, sono stati esaminati tre campioni di lave non affette da alterazione superficiale secondaria in sezione sottile con spessore di 30 µm con il microscopio polarizzatore Zeiss Axioscope.

La terza fase è stata dedicata alla produzione della Carta dei complessi idrogeologici in scala 1: 25.000 e 1: 5000, in base alla normativa del Servizio Geologico Nazionale (1995), alla carta geologica, ai pozzi disponibili, e al controllo delle sorgenti, le cui quote e coordinate WGS 84 (DD), trasformate in DMS, sono state determinate, rispettivamente, mediante il Barometre Holosterique Altimétrique compensé 1131 con lettura fino a 0,5 m, e il GPSMAP 64 Garmin. *Per quanto riguarda le sorgenti Cinque Bottini e Trinità, gestite dall'Ufficio Acquedotto del Comune di Civitavecchia fino alla fine degli anni Cinquanta e successivamente da ACEA Ato2, si evidenzia che la richiesta di accesso alle due sorgenti è stata inoltrata ad ACEA Spa mediante Posta Elettronica Certificata (PEC). Purtroppo, ACEA Spa, la cui proprietaria è Roma Capitale, non ha fornito alcuna risposta, e, di conseguenza, ha impedito l'accesso alle sorgenti.* Sono state eseguite misure dirette per determinare la portata e la temperatura dell'acqua delle altre sorgenti. La portata è stata misurata nel periodo novembre 2022 - aprile 2023 mediante il metodo volumetrico con un recipiente di plastica appositamente tarato. Le misure eseguite tre volte hanno consentito di ottenere il valore medio. La temperatura è stata controllata mediante uno strumento portatile con sensore, e sono state prodotte osservazioni sui caratteri chimico fisici dell'acqua delle sorgenti. Inoltre, è stata svolta una indagine sulla copertura boschiva delle lave dell'Unità di Allumiere.

La quarta fase ha consentito di identificare le opere di presa delle sorgenti Cinque Bottini e Trinità, che alimentavano l'acquedotto di Traiano, il tracciato di quest'ultimo tra le sorgenti e la zona della località Grasceto delle Poste



**Figura 1** - Ubicazione dell'area studiata. Il rettangolo rosso indica l'area della Figura 2. L'immagine da satellite in basso mostra il tracciato dell'acquedotto di Traiano, le sorgenti Cinque Bottini e Trinità che lo alimentavano, e la variante della galleria Tagliaccio dovuta ai lavori di restauro di Papa Innocenzo XII.

*Figure 1* - Location of the study area. The red rectangle indicates the location of Figure 2. The satellite image below shows the Traiano's aqueduct, the Five Bottini and Trinità springs that fed it, and the variant of the Tagliaccio tunnel because of the restoration works of Pope Innocenzo XII.

l'acquedotto di Traiano e le relative opere di presa sono ubicate nel territorio comunale di Allumiere (settore centro-settentrionale dei Monti della Tolfa; Lazio centro occidentale) in sinistra della valle del F. Mignone (Fig. 1), nella tavoletta I SE La Farnesiana del Foglio 142 Civitavecchia e negli elementi 363032 Allumiere e 363031 La Farnesiana della Carta Tecnica della Regione Lazio in scala 1: 5000.

## Risultati

### Assetto geologico

I Monti della Tolfa sono costituiti in larga misura dal Flysch della Tolfa (FYT; Cretacico superiore–Eocene) e dalle lave dell'Unità di Allumiere (UAL; Pliocene superiore - Pleistocene inferiore), subordinatamente dai sedimenti marini di acque basse dell'Unità di Pian della

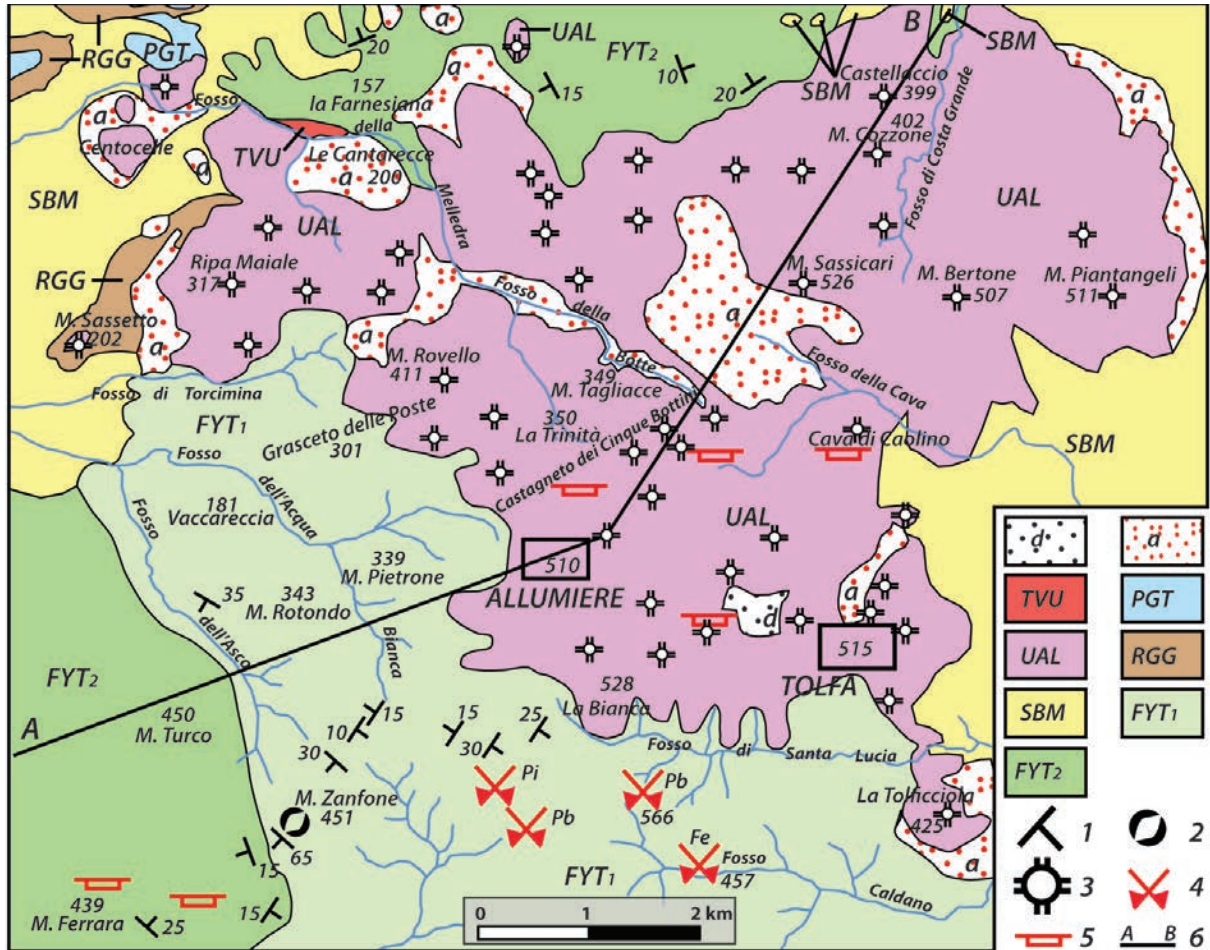
Regina (RGG; Piacenziano) e dell'Unità del Fosso di San Savino (SBM; Zancleano) (Fig. 2a). Inoltre, sono presenti piccoli lembi di depositi fluviali lacustri (PGT; Pleistocene superiore).

Dal punto di vista geomorfologico i Monti della Tolfa comprendono un gruppo di colline con forma ellissoidale, orientato in direzione SO-NE, ed elevata energia del rilievo, fino a quote di 510 m s.l.m. ad Allumiere e 515 m s.l.m. a Tolfa. Il reticolo idrografico include numerosi corsi d'acqua con regime torrentizio disposti con andamento radiale, valli con forma di "V" molto accentuata, e pendenza > 30°. In particolare, si evidenzia che il corso d'acqua Fosso della Botte alla quota 203 m s.l.m. cambia il nome in Fosso della Melledra con decorso complessivo da SE verso NO, confluenndo in sinistra del F. Mignone. Uno spartiacque orientato ONO - ESE attraversa i Monti della Tolfa separando

(IGM) o Grasse della Posta (CTR), e la reale funzione della cisterna terminale in prossimità dello scalo marittimo di *Centumcellae*. Il tracciato dell'acquedotto è stato determinato mediante il curvimetro Silva Misuratore di Mappa sulle tavolette IGM 142 I SE La Farnesiana e 142 II NE Tolfa. Le misure sono state eseguite tre volte, fornendo valori molto simili, dai quali è stato ricavato il valore medio. Un ulteriore controllo effettuato sul terreno mediante le CTR 363031 La Farnesiana e 363032 Tolfa, il Barometre Holosterique Altimétrique compensé 1131 e il GPSMAP 64 Garmin, ha consentito di suddividere il tracciato in sette sezioni.

### Area di studio

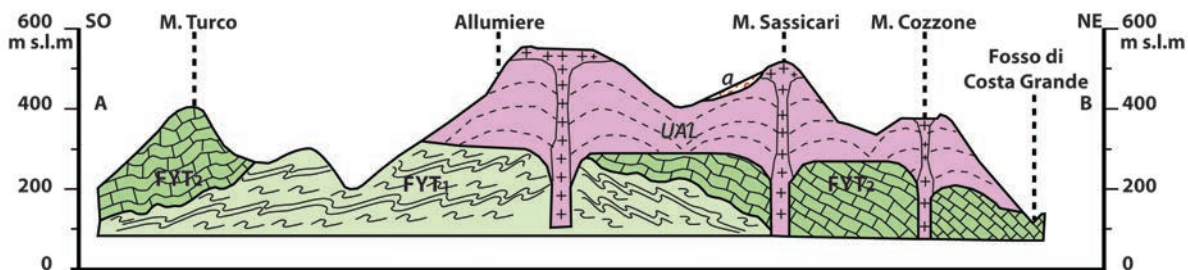
Le sorgenti Cinque Bottini e Trinità che alimentavano



**Figura 2a** - Carta geologica dei Monti della Tolfa. *d*, accumulo antropico dovuto ad attività mineraria di cava (Olocene); *a*, deposito eluviale (suolo) e colluviale (Olocene); TVU (tufo del Distretto Vulsino; Pleistocene medio - superiore); PGT, Depositi fluviali lacustri (ghiaie, sabbie, limi, argille; Pleistocene superiore); UAL, Unità di Allumiere (lave trachitico-dacitiche grigie; Pliocene superiore - Pleistocene inferiore); RGG, Unità di Pian della Regina (sabbie gialle con lenti di conglomerati; Piacenziano); SBM, Unità del Fosso di San Savino (argille, argille sabbiose e marnose grigie; Zancleano); FYT, Flysch della Tolfa: FYT1, Membro di Poggio Vivo (argilliti grigie, marroni, rossastre, con intercalazioni di marne e calcari marnosi di colore marrone chiaro in strati medi, di calcari silicei di colore grigio scuro in strati sottili e medi; calcareniti torbiditiche di colore grigio e marrone chiaro in strati medi e spessi; Cretacico superiore - Paleocene); FYT2, Membro del Fosso dell'Anitrella (calcari marnosi grigi e nocciola tipo pietra paesina, calcari silicei di colore grigio scuro, e calcareniti torbiditiche grigie in strati medi e spessi; marne di colore marrone chiaro; argilliti marroni e grigie; marne e calcari marnosi rossastri in strati medi nella parte superiore; Eocene); 1, strati dritti; 2, frana sottomarina intraformazionale; 3, domo; 4, miniera inattiva (Fe, di ferro; Pi, di pirite; Pb, di piombo); 5, cava inattiva; 6, traccia di sezione geologica.

**Figure 2 a** - Geological map of the Tolfa Mountains. *d*, anthropic accumulation because of quarry activity (Holocene); *a*, eluvium (soil) and colluvium deposit (Holocened); TVU (tuff of the Vulsino District; middle - upper Pleistocene); PGT, fluvial lacustrine deposits (gravels, sands, silts, clays; upper Pleistocene); UAL, Allumiere Unit (grey trachyte-dacite lavas; upper Pliocene - lower Pleistocene); RGG, Pian della Regina Unit (yellow sands with lenses of conglomerates; Piacenzian); SBM, Fosso di San Savino Unit (clays, grey sandy and marly sands; Zanclean); FYT, Tolfa Flysch: FYT1, Poggio Vivo Member (grey, brown and reddish argillite with intercalation of light brown marl and marly limestone in medium beds, dark grey siliceous limestone in thin and medium beds; grey and light brown turbidite calcarenite in medium and thick beds; upper Cretaceous-Paleocene); FYT2, Torrent of the Anitrella Member (grey and brown marly limestones of pietra paesina type, dark grey siliceous limestone, and grey turbidite calcarenite in medium and thick beds; light brown marl; brown and grey argillite; marl and reddish marly limestone in medium beds in the upper part; Eocene); 1, bed attitude; 2, intraformational submarine landslide; 3, dome; 4, inactive mine (Fe, of iron; Pi, of pyrite; Pb, of lead); 5, inactive quarry; 6, trace of geological section.



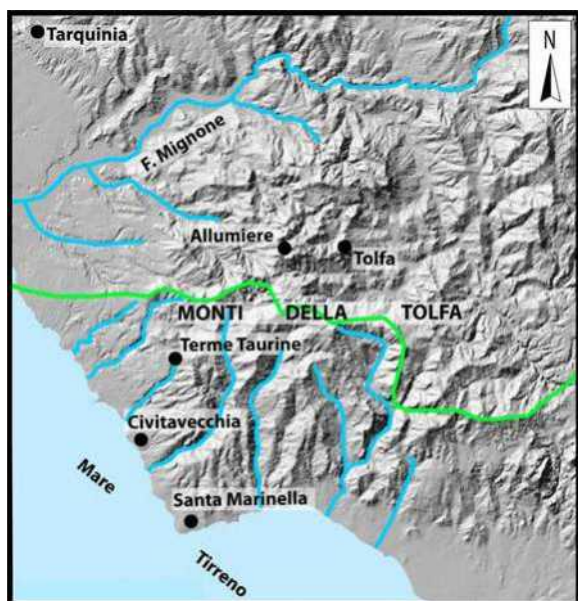


**Figura 2b** - Sezione geologica. a, deposito eluviale (suolo) e colluviale (Olocene); UAL, Unità di Allumiere (Pliocene superiore – Pleistocene inferiore); Flysch della Tolfa: FYT1, Membro di Poggio Vivo (Cretacico superiore – Paleocene); 5, FYT2, Membro del Fosso dell’Anitrella (Eocene).

**Figure 2 - b** Geological section. a, eluvium (soil) and colluvium deposit (Holocene); UAL, Allumiere Unit (upper Pliocene – lower Pleistocene); Tolfa Flysch: FYT1, Poggio Vivo Member (upper Cretaceous – Paleocene); Torrent of the Anitrella Member (Eocene).

i torrenti che confluiscono in sinistra del F. Mignone da quelli che sboccano nel Mare Tirreno tra Civitavecchia e Santa Marinella (Fig. 3).

Il Flysch della Tolfa (FYT) (Abbate & Sagri, 1970; Fazzini



**Figura 3** - Assetto geomorfologico dei Monti della Tolfa. La linea verde indica lo spartiacque tra i torrenti in sinistra del F. Mignone e quelli del Mare Tirreno tra Civitavecchia e Santa Marinella.

**Figure 3** - Geomorphological setting of the Tolfa Mountains. The green line indicates the watershed between the streams on the left of the Mignone River and those of the Tyrrhenian Sea between Civitavecchia and Santa Marinella.

et al., 1972; Baldi et al., 1974; Boccaletti et al., 1987; Civitelli & Corda, 1993; De Rita et al., 1994, 1997) comprende il Membro di Poggio Vivo (FYT<sub>1</sub>), cui segue il Membro di Fosso dell’Anitrella (FYT<sub>2</sub>) (ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d’Italia, in attesa di stampa).

Il Membro di Poggio Vivo (FYT<sub>1</sub>), che affiora nella zona a SO di Allumiere e Tolfa, è composto da strati medi di argilliti di colore marrone chiaro 5 YR 5/6, grigio scuro N3, grigio chiaro medio N6 e rosso medio 5 R 4/6 con intercalazioni di strati medi e sottili di marne e calcari marnosi di colore marrone chiaro 5 YR 6/4 e grigio medio N5, e di strati medi e spessi di calcari silicei di colore grigio scuro N3, di calcareniti torbiditiche di colore arancio grigio 10 YR 7/4 e marrone chiaro 5 YR 6/4 in strati medi e spessi. Localmente sono presenti pieghe e piani di taglio a scala decimetrica e gli strati calcarei competenti intercalati tra quelli argillosi meno competenti sono stirati, assottigliati e rotti ad intervalli irregolari formando corpi lenticolari a scala decimetrica (*boudinage*; American Geological Institute, 2005). Inoltre, sul versante occidentale di M. Zanfone lungo la Strada Provinciale 3/A affiora un pacco di strati spessi, medi e sottili piegati interposto tra strati con giacitura concordante, attribuibile ad una struttura da frana sottomarina intraformazionale (*slump structure*; American Geological Institute, 2005). Lo spessore del Membro di Poggio Vivo è di circa 600-700 m e la sua età è Cretacico superiore – Paleocene (ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d’Italia, in attesa di stampa).

Il Membro del Fosso dell’Anitrella (FYT<sub>2</sub>), presente nella zona di M. Turco a SO di Allumiere e nella zona a nord di quest’ultimo, comprende strati spessi, molto spessi e megastrati di calcari marnosi di colore arancio grigio 10 YR 7/4, tipo pietra paesina, calcari silicei, calcareniti torbiditiche di colore arancio grigio 10 YR 7/4, argilliti di colore marrone medio 5 YR 3/4, marne di colore grigio scuro N3, marne e calcari marnosi di colore arancio rosa 10 R 7/4 nella parte alta. Lo spessore del Membro del Fosso dell’Anitrella è di circa 700-800 m e la sua età è Eocene (ISPRA-Dipartimento

Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia, in attesa di stampa).

I membri del Flysch della Tolfa sono correlabili con le unità dei Flysch Tolfetani di Fazzini et al. (1972). Infatti, il Membro di Poggio Vivo (FYT<sub>1</sub>) corrisponde al Flysch argilloso-calcareo (fc), il Membro di Fosso dell'Anitrella (FYT<sub>2</sub>) al Flysch calcareo (fc<sup>1</sup>). Il Flysch della Tolfa è stato oggetto di escavazione sia a cielo aperto nella cava di M. Ferrara per la produzione di cemento, sia in quattro miniere per l'estrazione di ferro, piombo e pirite a sud di Allumiere e Tolfa (Fig. 2a).

La ricostruzione dell'assetto tettonico del Flysch della non Tolfa è fortemente condizionata dalla mancanza di affioramenti significativi per riconoscere gli elementi tettonici ed i relativi indicatori cinematici alla meso-scala. Inoltre, non è possibile riconoscere livelli stratigrafici di riferimento e quindi valutare i rigetti delle faglie. Questa difficoltà è stata evidenziata anche da Fazzini et al. (1972) e ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo- Servizio Geologico d'Italia (in attesa di stampa) che hanno individuato alcune pieghe a grande scala, di cui alcune rovesciate con vergenza verso NE. Nel settore centro-occidentale dell'area in esame la giacitura degli strati indica la successione di pieghe antiformi e sinformi, più evidente nel Membro di Poggio Vivo (Fig. 2 b), e nel settore settentrionale anche la giacitura degli strati del Membro del Fosso dell'Anitrella mostra una successione di pieghe simile alla precedente (Fig. 2b). Al riguardo si evidenzia che il Membro del Fosso dell'Anitrella è costituito da una maggiore quantità di litotipi calcarei più competenti, mentre il Membro di Poggio Vivo mostra una elevata quantità di argilliti meno competenti. Questa differenza litologica si riflette nella diversa risposta dei due membri alle sollecitazioni delle deformazioni. Infatti, alla scala dell'affioramento i due membri mostrano talvolta elementi plicativi di tipo concentrico, caratterizzati da asse e piano assiale con inclinazione di 25° - 35° e assetto disarmonico, molto più evidenti nel Membro di Poggio Vivo. L'Unità del Fosso di San Savino (SBM), che affiora nella zona orientale di Tolfa e tra La Farnesiana e il F. Mignone (Fig. 2 a), comprende argille, argille sabbiose, e argille marnose di colore grigio con spessore fino a circa 75 m, la cui età è Zancleano (Chiocchini & Potetti, 1998; De Rita et al., 1997; ISPRA Servizio Geologico d'Italia, in attesa di stampa). L'Unità di Pian della Regina (RGG), si riconosce in sinistra della valle del F. Mignone ed è composta da sabbie gialle ricche di bivalvi, in strati medi e spessi, con giacitura orizzontale e sovrapposti all'Unità del Fosso di San Savino. Lo spessore arriva a circa 50 m e l'età è Piacenziano

(Chiocchini & Potetti, 1998; De Rita et al., 1997; ISPRA Servizio Geologico d'Italia, in attesa di stampa).

Le rocce vulcaniche dell'Unità di Allumiere (UAL) sono costituite da lave ricche in silice della Provincia Magmatica Toscana (Poli et al. 1984; Van Bergen, 1984; Serri et al, 1992; Peccerillo & Donati, 2003; Peccerillo, 2005), che affiorano in 47 domi, per lo più coalescenti, tra Tolfa, Allumiere e la valle del F. Mignone, formando un corpo unitario esteso su una superficie di circa 46 km<sup>2</sup>, con geometria complessiva ellissoidale, il cui asse maggiore è orientato est-ovest (Fig. 2a). Si riconoscono domi isolati solo a Tolfaccia, a sud di Tolfa, Sassetto e Centocelle in sinistra del F. Mignone (Fig. 2a), La Montagnola presso Aurelia, poco a nord di Civitavecchia.

Le lave sono caratterizzate da intensa alterazione superficiale secondaria molto diffusa, che le rende molto friabili e di colore bianco N 9 con chiazze e venature di colore giallo chiaro arancione 10YR 8/6. Tale stato di alterazione, dovuto alla silicizzazione della pasta di fondo, alla caolinnizzazione dei feldspati, alla ossidazione della biotite, alla trasformazione degli ortopirosseni in serpentino, e alla formazione di plaghe di calcite nella pasta di fondo (De Rita et al., 1997), produce, inoltre, coltri di deposito eluviale (suolo) e colluviale ("a" in Fig. 2a) costituite da sabbie grossolane eterometriche e ghiaie in matrice sabbiosa e più raramente limoso-argillosa, di colore moderatamente rosso arancione 10R 6/6, con frammenti grossolani di lava alterata di colore bianco N 9, il cui spessore arriva a circa 6-10 m in alcuni versanti, valli, e vallecole. Questi depositi eluviali e colluviali, particolarmente estesi nelle zone tra Allumiere e Tolfa, lungo la valle del Fosso della Botte, M. Sassicari, Ripa Maiale, Le Cantarecce, e La Farnesiana (Fig. 2a), hanno favorito lo sviluppo di boschi, talora con denso sottobosco, che ancora coprono buona parte dell'area dell'Unità di Allumiere. Negli affioramenti di lave non alterate le rocce sono molto compatte, di colore grigio chiaro N 7, e mostrano in alcune zone piccoli fori dovuti alla emissione dei gas, e strutture da flusso, fessure verticali o molto inclinate per lo più aperte, connesse alla contrazione della lava durante il raffreddamento, fratture verticali o molto inclinate dovute alle fasi della tettonica distensiva del Pliocene e Pleistocene. Lo spessore dell'Unità di Allumiere raggiunge il massimo di circa 250 m nell'area di Allumiere, e diminuisce verso le zone periferiche.

L'esame petrografico di tre campioni non affetti da alterazione superficiale secondaria (La Rocca a Tolfa, Trinità e la zona di M. Rovello a nord di Allumiere) indica che la struttura delle lave è porfirica molto accentuata

con fenocristalli di sanidino (Or 71 – 81), plagioclasio An (46 - 59), clinopirosseno augite, ortopirosseno iperstene, biotite<sup>6</sup>, ossidi di tipo ilmenite, in pasta di fondo vetrosa e ipocristallina con plaghe di calcite. Inoltre, sono stati riconosciuti apatite e zirconio come accessori. I numerosi studi (Lauro et al., 1965; Lombardi et al., 1965a, 1965b, 1974; Negretti & Morbidelli, 1963; Negretti et al., 1966; Lauro & Negretti, 1969; Alberti et al., 1970; Ferrini et al., 1970; Taylor & Turi, 1976; Devoto & Lombardi, 1977; Vollmer, 1977; De Rita et al., 1994, 1997; Pinarelli, 1991; Palozza, 2019) e il diagramma alcali totali-silice (TAS) di Le Bas et al. (1992) suggeriscono che la composizione delle lave è trachidacitica, mentre le lave di La Montagnola e Reloso mostrano, rispettivamente, composizione riolitica (De Rita et al., 1994; 1997), e di tipo latitico e quarzolattico (Palozza, 2019).

Per quanto riguarda i rapporti tra l'Unità di Allumiere e le formazioni sedimentarie, costituite dall'Unità del Fosso di San Savino e dal Flysch della Tolfa, si evidenziano le seguenti osservazioni sul terreno.

- L'Unità del Fosso di San Savino si rinviene sia a Tolfa, fino a quota 380 m s.l.m., sia nella zona di Fontanile del Cerreto nei pressi di Castellaccio, circa 6 km a nord di Tolfa a quota 210 m s.l.m., dove è alla base dell'Unità di Allumiere. Questa giacitura si osserva anche lungo il Fosso di Costa Grande poco a sud di M. Cozzone.
- Le lave affiorano nelle principali valli dei torrenti a quote inferiori a quelle dell'Unità del Fosso di San Savino.
- Nel domo della Tolfaccia, circa 4 km a SO di Tolfa, l'Unità del Fosso di San Savino affiora alla quota più elevata (350-400 m s.l.m.) dei Monti della Tolfa.
- Nel domo in località La Montagnola, circa 6 km a nord di Civitavecchia, è conservato un lembo metamorfosato dell'Unità del Fosso di San Savino.
- Nell'affioramento di M. Sassetto, in prossimità della ferrovia dismessa Orte-Civitavecchia, circa 3 km a SO di La Farnesiana, sono presenti blocchi dell'Unità del Fosso di San Savino coinvolte dal processo di risalita delle lave (De Rita et al., 1997). Nella zona delle cave di caolino e alunite, circa un km a nord di Allumiere, un sondaggio ha evidenziato che sotto l'Unità di Allumiere sono presenti circa 45 m di sedimenti argillosi dell'Unità di Fosso di San Savino sovrapposti al Flysch della Tolfa. Questi sedimenti argillosi sono presenti anche in un pozzo alla base

delle lave dell'Unità dei Allumiere nella zona di La Bianca circa 1,5 km a SE di Allumiere.

Inoltre, i dati di alcuni sondaggi eseguiti nel 1954-1955 per ricerca nell'area delle miniere di piombo, ferro, e pirite a sud di Allumiere e Tolfa (Fig. 2a), indicano la presenza di corpi intrusivi di tipo granitico e quarzítico a profondità di circa 100 m sotto il Flysch della Tolfa (De Rita et al., 1967). Infatti, in questa area sono stati riconosciuti dicchi e rocce ipoabissali (Ferrini et al., 1970), e il Flysch della Tolfa, che mostra tracce di termometamorfismo in diverse zone, è sollevato rispetto agli altri affioramenti dei Monti della Tolfa. Di conseguenza, poiché tali dati confermano la presenza di corpi intrusivi a bassa profondità, le rocce vulcaniche si sono messe in posto con modalità intrusiva (De Rita et al., 1997) e i duomi possono essere considerati come cripto-duomi (Cas & Wright, 1987). Circa l'età della messa in posto delle lave dell'Unità di Allumiere, Lombardi et al. (1974) indicano il Pliocene superiore – Pleistocene inferiore, confermato da De Rita et al. (1997), mentre l'età radiometrica di Villa et al. (1989) è di 3,46 Ma, cioè la parte alta del Pliocene inferiore. Tenendo presente che i domi mostrano di essersi formati contemporaneamente in un periodo di tempo relativamente breve, questa discrepanza può essere spiegata ritenendo che l'età di 3,46 Ma sia riferita alle fasi di cristallizzazione del magma in profondità e che i corpi lavici siano risaliti in un periodo successivo (De Rita et al., 1997).

Quanto sopra illustrato suggerisce che le lave dell'Unità di Allumiere si sono intruse fino a breve distanza dalla superficie e la messa in posto dei domi ha provocato il sollevamento del Flysch della Tolfa e dell'Unità del Fosso di San Savino. Pertanto, l'area dei Monti della Tolfa è stata sollevata di circa 100 m con il massimo di 200 m nella zona della Tolfaccia (Marinelli et al., 1993). Anche l'Unità di Allumiere è stata sottoposta ad escavazione a cielo aperto in numerose cave di alunite e caolino tra Allumiere e Tolfa, dove è presente un esteso deposito dovuto a tale attività ("d" in Fig. 2a).

Presso La Farnesiana, sulla sponda destra del Fosso della Melledra, affiora un tufo di colore arancione chiaro 10 YR 8/2 costituito da matrice fine con piccoli fenocristalli di leucite analcimizzata e numerosi vacuoli (TVU), riferito all'attività del Distretto Vulsino (Alberti et al., 1970; Fazzini et al., 1972).

I Depositi fluviali lacustri (RGT), ubicati in tre limitati affioramenti in sinistra del F. Mignone (Fig. 2a), comprendono ghiaie, sabbie gialle, limi e sono riferiti al Pleistocene superiore (De Rita et al., 1997;

<sup>6</sup> Formula chimica: augite Ca (Mg, Fe, Al) (Al Si)<sub>2</sub> O<sub>6</sub>; iperstene (Mg, Fe) SiO<sub>3</sub>; biotite (K, H)<sub>2</sub> Al<sub>2</sub> (Si<sub>3</sub> O<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.



Figura 4 - Ubicazione dei pozzi dell'Enel (Pa, Pantani; AI, Allumiere; Ba, Bagnarello) e delle Terme dei Papi (TP).

Figura 4 - Location of the wells of Enel (Pa, Pantani; AI, Allumiere; Ba, Bagnarello) and Spa of Popes (TP).

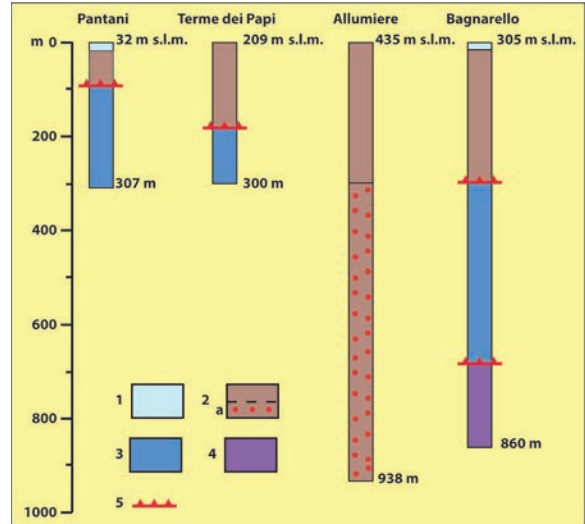
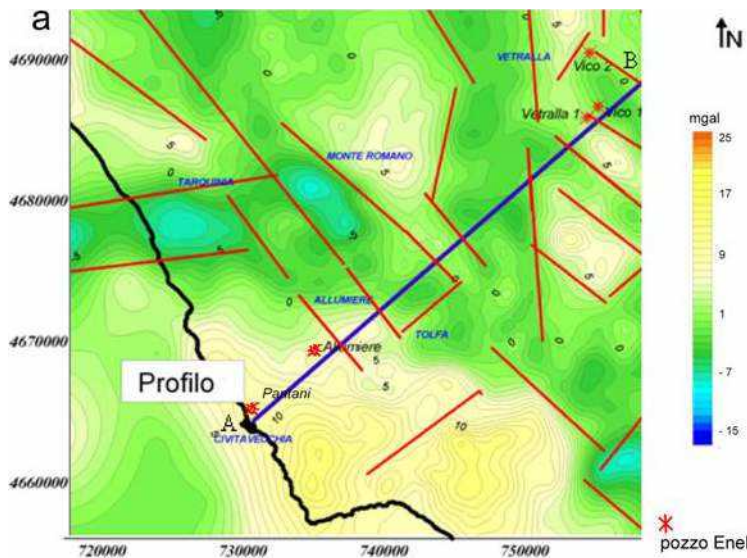


Figura 5 - Stratigrafia dei pozzi Pantani (1961), Allumiere (1962), Bagnarello (1962) dell'Enel e delle Terme dei Papi (2019). 1, travertino (Olocene); 2, Flysch della Tolfa: a, con noduli di pirite (Cretacico superiore-Eocene); 3, Falda Toscana: Calcari Diasprini (Dogger), 4, Calcari e Marne con Rhaeticula Contorta - Calcare Cavernoso (Triassico superiore); 5, contatto di sovrapposizione tettonica.

Figure 5 - Logs of the wells Pantani (1961), Allumiere (1962), Bagnarello (1962) of Enel and TP of Spa of Popes (2019). 1, travertine (Holocene); 2, Tolfa Flysch: a, with pyrite nodules (upper Cretaceous-Eocene); 3, Tuscan Nappe: Diasprino Limestone (Dogger); 4, Limestone and Marl with Rhaeticula Contorta-Cavernoso Limestone (upper Triassic); 5, tectonic overlapping contact.

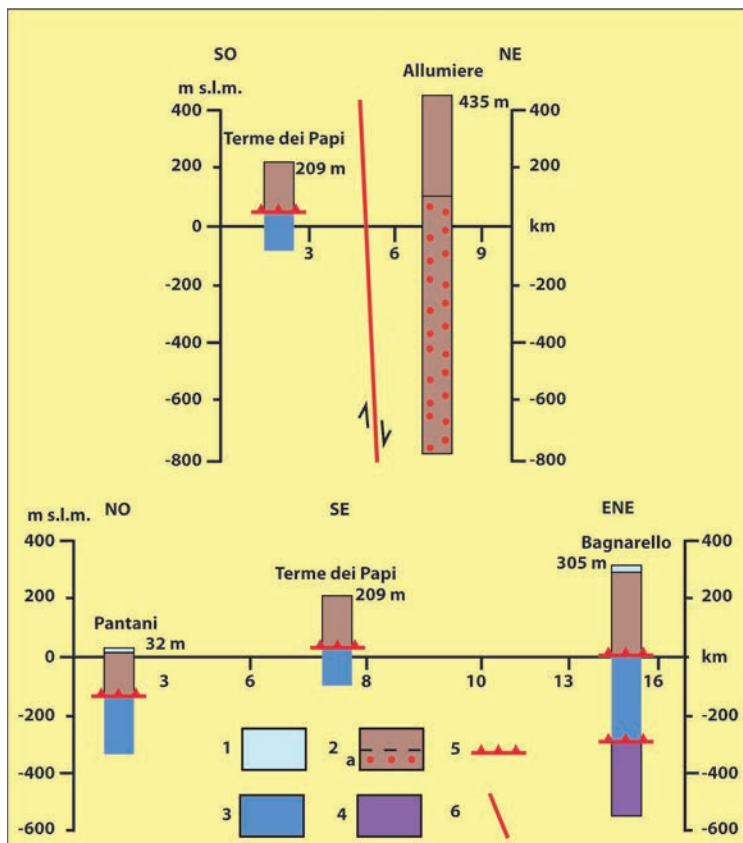


ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia, in attesa di stampa).

L'assetto stratigrafico e strutturale dei Monti della Tolfa, ricostruito anche mediante i pozzi perforati dall'Enel per ricerca geotermica (Pantani, Allumiere, Bagnarello) e dalle Terme dei Papi (Fig. 4 e 5), il modello gravimetrico, e (Fig. 6)

Figura 6 - Carta della gravità residuale (a) e profilo del modello gravimetrico (b) dei Monti della Tolfa. 1, unità vulcaniche (Pliocene-Pleistocene); 2, Flysch della Tolfa (Cretacico superiore-Eocene); 3, unità Mesozoico-Cenozoiche della Falda Toscana; 4 substrato quarzítico-filladico (Permiano); 4, faglia diretta. Da Chiocchini et al. (2010) modificato.

Figure 6 - Map of the residual gravity (a) and section of the gravimetric model (b) of the Tolfa Mountains. 1, volcanic units (Pliocene-Pleistocene); 2, Tolfa Flysch (upper Cretaceous-Eocene); 3, Mesozoic-Cenozoic units of the Tuscan Nappe; 4, quartzite-phyllite substrate (Permian); 4, normal fault. From Chiocchini et al. (2010) modified.



**Figura 7** - Sezioni di correlazione dei pozzi dell'Enel e delle Terme dei Papi. 1, travertino (Olocene); 2, Flysch della Tolfa: a, con noduli di pirite (Cretaceo superiore – Eocene); Falda Toscana: 3, Calcari Diasprini (Dogger), 4, Calcari e Marne con Rhaetavicula Contorta–Calcarea cavernoso (Triassico superiore); 5, contatto di sovrapposizione tettonica; 6, faglia diretta.

**Figure 7** - Correlation sections of the wells of Enel and Spa of Popes. 1, travertine (Holocene); 2, Tolfa Flysch: a, with pyrite nodules (upper Cretaceous-Eocene); 3, Tuscan Nappe: Diasprino Limestone (Dogger); 4, Limestone and marl with Rhaetavicula contorta–Cavernoso Limestone (upper Triassic); 5, tectonic overlapping contact; 6, normal fault.

6 mostra che l'area di Tolfa-Allumiere è compresa in un horst.

Il rilevamento geologico ha confermato le indicazioni della mappa del Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) relative ai movimenti franosi attivi che interessano sia il Flysch della Tolfa nel territorio di Allumiere e Tolfa, in particolare la Strada Provinciale 3/A, mediante scivolamento rotazionale/traslattivo, colamento lento, zone con frane superficiali diffuse, e meno frequenti movimenti di tipo complesso, sia le lave dell'Unità di Allumiere tramite movimenti per crollo/ribaltamento nelle zone di Allumiere, Tolfa, e Ripa Maiale.

le sezioni di correlazione dei pozzi (Fig. 7), evidenzia la sovrapposizione tettonica del Flysch della Tolfa sulla Falda Toscana. Quest'ultima giace sul substrato quarzítico filladico del Permiano, ed è costituita dai Calcari Diasprini del Dogger, sovrascorsi sulla successione prevalentemente dolomitica che comprende i Calcari e Marne con Rhaetavicula Contorta e il Calcarea Cavernoso del Triassico superiore (parte inferiore della Falda Toscana). Tale assetto stratigrafico e strutturale, dovuto alle fasi di deformazione dell'Oligocene-Miocene inferiore e del Miocene medio superiore (Kligfield et al., 1986; Brunet et al., 1997; Rossetti et al., 1999; ISPRA – Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia, in attesa di stampa) successivamente è stato suddiviso in horst e graben ad opera delle fasi della tettonica distensiva del Pliocene e Pleistocene (Consiglio Nazionale delle Ricerche, 1987; ISPRA – Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia, in attesa di stampa). Si evidenzia che la Falda Toscana è stata oggetto di ricerche per lo sfruttamento dei fluidi idrotermali da parte della Società Terni, dell'Enel e dell'Agip nell' area di Civitavecchia. La sezione gravimetrica della Figura

Il rischio sismico del territorio comunale di Allumiere, Tolfa e Civitavecchia è classificato con il grado 3B e indice di accelerazione ( $a_g$ )  $< 0,10^{[7]}$ , con una probabilità di essere superato pari al 10% in 50 anni. Si tratta di un rischio sismico basso che implica scuotimenti modesti.

### Assetto idrogeologico

#### Elementi climatici

Sono state analizzate le seguenti variabili climatiche della stazione di Allumiere:

- T°C: temperatura media mensile e annuale;
- Pmm: precipitazioni totali medie mensili e annuali;
- ER: evapotraspirazione reale annuale;
- PE: precipitazioni efficaci annuali.

Inoltre, sono stati stimati i seguenti parametri statistici:

- N: numero di osservazioni della serie di valori;
- MA: media aritmetica della serie dei valori;
- MAX, MIN: rispettivamente, valore massimo e valore minimo della serie;

<sup>7</sup> Questo indice rappresenta l'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido e pianeggiante.

Stazione termo-pluviometrica Allumiere													
Bacino del Fiume Mignone													
Quota 534 m s.l.m. Coordinate WGS 84 DMS 42°09'28" N – 11°54'31,40" E													
T°C	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	An-nuale
Men-sile	6,11	6,57	8,65	11,64	15,75	19,88	22,97	22,90	19,34	14,91	10,44	7,39	13,88
MAX	9,07	9,59	12,28	15,19	19,78	24,04	27,86	27,41	23,52	18,58	13,38	10,18	17,56
MIN	3,33	3,55	5,24	7,56	11,62	15,23	17,85	18,23	15,12	11,54	7,40	4,73	10,12
P mm	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	974,38
Men-sile	102,66	99,58	87,29	75,13	64,93	35,42	17,85	36,39	78,13	114,43	138,43	124,14	

**Tabella 1** – Valori della temperatura (T°C) media mensile e annuale (55 anni), massima (MAX) e minima (MIN) (46 anni), e delle precipitazioni (P mm) medie mensili e annuali (55 anni) della stazione termo-pluviometrica Allumiere nei periodi 1964 - 2011 e 2015 - 2021.

**Table 1** - Values of the mean monthly and annual temperature (T°C) (55 years), maximum (MAX) and minimum (MIN) (46 years) and mean monthly and annual precipitation (P mm) (55 years) of the thermo-pluviometric station of Allumiere in the periods 1964 - 2011 and 2015 - 2021.

- SQM: scarto quadratico medio della serie;
- CV: coefficiente di variazione (rapporto SQM/MA);
- SQMMR: scarto quadratico medio della media relativo (rapporto CV/radice quadrata di N).

#### Temperatura

La temperatura media annuale (T°C) è 13,88°C, le medie mensili sono comprese tra il minimo 6,11°C in gennaio e il massimo 22,97°C in luglio (Tabella 1 e 2, Fig. 8a). Il valore medio più basso della temperatura minima si verifica in gennaio con 3,33°C, il valore medio più alto in agosto con 18,23°C, e il valore medio più basso della temperatura massima avviene in gennaio con 9,07°C, il più alto in luglio con 27,86°C.

L'elaborazione dei dati mediante il metodo dei minimi quadrati, illustrato nel grafico di Figura 8b, evidenzia la positività dell'andamento della temperatura media annua. Pertanto, estrapolando questa tendenza al prossimo decennio, si può ipotizzare che il valore medio della temperatura aumenti.

#### Precipitazioni

Il valore annuale medio delle precipitazioni totali (P mm), che si verificano prevalentemente in autunno e inverno, è 974,38 mm (Tabella 1 e 2, Fig. 8a). I giorni piovosi si registrano in ottobre (114,43 mm), novembre (138,43 mm), dicembre (124,14 mm), e gennaio (102,66 mm), e i valori più bassi delle precipitazioni si verificano in giugno (35,42 mm), luglio (17,85 mm), e agosto (36,39 mm).

L'elaborazione dei dati mediante il metodo dei minimi quadrati, illustrato nel grafico di Figura 8c, indica la

tendenza negativa dell'andamento delle precipitazioni medie annue. Quindi, estrapolando questa tendenza al prossimo decennio, è possibile ipotizzare che il valore medio delle precipitazioni diminuisca.

#### Parametri derivati

La combinazione dei dati termici e di quelli pluviometrici consente di eseguire stime sulla evapotraspirazione reale (ER) e sulle precipitazioni efficaci annue (PE).

#### Evapotraspirazione

L'evapotraspirazione reale (ER) espressa in mm/annui è stata calcolata in base alla formula di Turc (1954):

$$ER = P / \sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}$$

in cui P è la precipitazione totale media annua, e

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3$$

è un parametro funzione cubica della temperatura media annua T in °C.

Pertanto, per il periodo 1964 - 2011 e 2015 - 2021, essendo  $L = 300 + 347 + 133,7 = 780,7$ , si ottiene:

$$ER = 974,38 / 1,57 = 620,6 \text{ mm.}$$

#### Precipitazioni efficaci

Le precipitazioni efficaci annue medie (PE), che rappresentano la risorsa idrica totale naturale potenziale rinnovabile, si calcolano, per il periodo 1964 - 2011 e 2015 - 2021, mediante la differenza tra la media delle precipitazioni annue (974,38 mm) e la media dell'evapotraspirazione reale annua (620,6 mm):

$$PE = P \text{ mm} - ER = 353,78 \text{ mm} = 353,78 \text{ l/m}^2.$$

Stazione termo-pluviometrica Allumiere Bacino del Fiume Mignone Quota 534 m s.l.m. Coordinate WGS 84 DMS 42°09'28" N – 11°54'31,40" E		
Anno	Temperatura (T °C)	Precipitazioni (P mm)
1964	14,75	103,13
1965	13,60	81,46
1966	13,93	100,39
1967	14,20	80,96
1968	13,58	85,73
1969	11,77	89,31
1970	13,88	61,32
1971	13,82	82,22
1972	13,68	106,25
1973	13,95	78,11
1974	13,83	84,97
1975	14,26	85,12
1976	13,98	88,94
1977	12,53	88,69
1978	13,45	99,70
1979	13,43	115,82
1980	12,78	94,05
1981	13,18	75,27
1982	14,11	58,90
1983	13,64	66,58
1984	12,99	110,23
1985	14,02	61,30
1986	13,75	84,55
1987	13,83	90,45
1988	14,21	54,52
1989	14,12	69,67
1990	14,11	66,82
1991	13,45	83,65
1992	12,66	78,65
1993	13,99	44,52

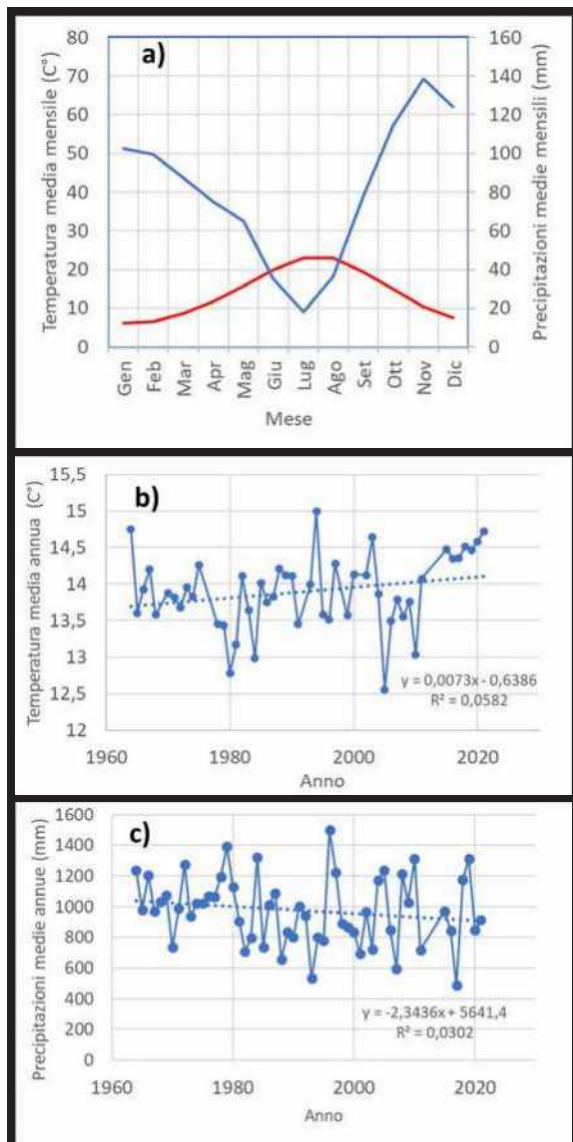
1994	15,00	66,69
1995	13,58	64,93
1996	13,51	124,82
1997	14,28	101,75
1998	-	74,02
1999	13,57	72,18
2000	14,13	69,59
2001	13,37	57,78
2002	14,13	80,48
2003	14,64	60,17
2004	13,87	97,48
2005	12,56	103,00
2006	13,49	70,60
2007	13,78	49,73
2008	13,55	101,12
2009	13,76	85,62
2010	13,03	109,27
2011	14,08	59,92
2015	14,48	80,97
2016	14,35	70,25
2017	14,36	40,57
2018	14,52	97,65
2019	14,47	109,53
2020	14,58	70,57
2021	14,73	75,98

#### Parametri statistici

N	55	55
MA (°C; mm)	13,88	974,38
MAX (°C; mm)	17,56	138,43
MIN (°C; mm)	10,12	17,85
SQM (°C; mm)	0,50	224,24
CV	3,62	23,01
SQMMR (%)	0,07	30,24

**Tabella 2** – Valori medi annuali della temperatura (T°C) e valori medi mensili delle precipitazioni (P mm) (55 anni) della stazione termo-pluviometrica Allumiere nei periodi 1964 – 2011 e 2015 – 2021. N, numero delle osservazioni; MA, media aritmetica della serie dei valori; MAX, valore massimo, MIN, valore minimo della serie; SQM, scarto quadratico medio della serie; CV, coefficiente di variazione (rapporto tra SQM e MA); SQMMR, scarto quadratico medio della media aritmetica (rapporto tra CV e la radice quadrata di N).

**Table 2** - Mean annual values of temperature (T°C) and mean monthly values of precipitation (P mm) (55 years) of the thermo-pluviometric station of Allumiere in the periods 1964 – 2011 and 2015 – 2021. N, number of observations; MA, arithmetic mean of the series of values; MAX, maximum value, MIN, minimum value of the series; SQM, standard deviation of the series; CV, coefficient of variation (ratio between SQM and MA); SQMMR, standard deviation of the arithmetic mean (ratio of CV to the square root of N).



**Figura 8** - a) Diagramma dell'andamento della temperatura media mensile in gradi centigradi (linea azzurra) e delle precipitazioni medie mensili in millimetri (linea rossa) della stazione Allumiere nei periodi 1964 - 2011 e 2015 - 2021. b) Diagramma dell'andamento delle variazioni della temperatura media annua in gradi centigradi della stazione Allumiere nei periodi 1964 - 2011 e 2015 - 2021. R2, coefficiente di determinazione. c) Diagramma dell'andamento delle variazioni delle precipitazioni medie annue in millimetri della stazione Allumiere nei periodi 1964 - 2011 e 2015 - 2021. R2, coefficiente di determinazione.

**Figure 8** - a) Diagram showing the trend of the average monthly temperature in Celsius degrees (blue line) and the average monthly rainfalls in millimeters (red line) at the Allumiere station in the periods 1964 - 2011 and 2015 - 2021. R2, coefficient of determination. b) Diagram showing the variation of the average annual temperature in Celsius degrees at the Allumiere station in the periods 1964 - 2011 and 2015 - 2021. R2, coefficient of determination. c) Diagram showing the trend of changes in the average annual rainfalls in millimeters at the Allumiere station in the periods 1964 - 2011 and 2015 - 2021. R2, coefficient of determination.

E' possibile ritenere che le condizioni ambientali e climatiche del passato, in particolare i livelli delle precipitazioni, siano state simili a quelle attuali e che abbiano favorito le attività antropiche e lo sviluppo socioeconomico, come è avvenuto tra il 350 e il 150 a.C., anche in presenza della Piccola Età Glaciale Arcaica tra il 520 a.C. e il 357 d.C. (Ortolani & Pagliuca, 2007; Luterbacher et al., 2016).

### I complessi idrogeologici

Nell'area dei Monti della Tolfa sono stati riconosciuti i seguenti complessi idrogeologici, dal più antico a quello più recente: Complesso del Flysch (Cretacico superiore - Eocene), Complesso delle argille (Pliocene inferiore), Complesso delle lave (Pliocene superiore - Pleistocene inferiore), Complesso detritico (Pliocene superiore - Olocene) (Fig. 9a).

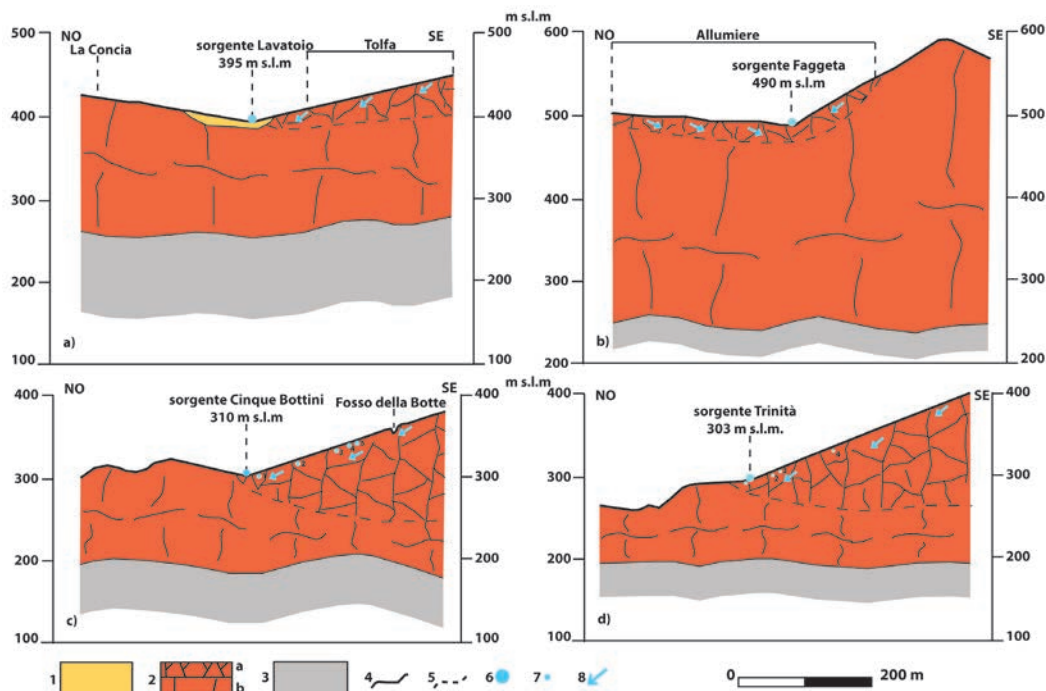
Il Complesso del Flysch, costituito dal Flysch della Tolfa, è caratterizzato da un grado di permeabilità relativa per fratturazione da molto basso a nullo e Coefficiente di Infiltrazione Potenziale (CIP) < 0,5 (Celico, 1988; Civita, 2005). Questo complesso corrisponde ai "Depositi torbiditici indifferenziati" di Ambrosi et al. (1984) e Bono et al. (1989) con funzione di acquiclude degli acquiferi carbonatici mesozoici sottostanti, al "Complesso dei flysch argillosi con intercalazioni litoidi" di Boni et al. (1986), alle "Rocce lapidee e sciolte con permeabilità ridottissima o nulla" di Ventriglia (1988), al "Complesso dei flysch marnoso-argillosi" di Capelli et al. (2012a), e alla "Unità Flyscioide F1 Monti della Tolfa" di Capelli et al. (2012b), con permeabilità relativa bassissima, infiltrazione efficace nulla, e potenzialità irrilevante. Queste indicazioni sono confermate dal basso valore del coefficiente di conducibilità idraulica ( $k = 5 \times 10^{-8} - 5 \times 10^{-9}$  m/s) determinato specificamente per il Complesso del Flysch nell'area di Viterbo (Piscopo et al., 2006), con condizioni litostratigrafiche e strutturali identiche a quelle dell'area in esame (Foglio 345 Viterbo; ISPRA Servizio Geologico d'Italia, in attesa di stampa).

Il Complesso delle argille, composto dall'Unità del Fosso di San Savino e corrispondente ai "Depositi marini argillosi e argilloso-sabbiosi" di Ambrosi et al. (1984) e Bono et al. (1989), al "Complesso delle argille marine" di Boni et al. (1986), alle "Rocce lapidee e sciolte con permeabilità ridottissima o nulla" di Ventriglia (1988), e al "Complesso delle argille" di Capelli et al. (2012a, b), è caratterizzata da un grado di permeabilità relativa da bassissimo a nullo con CIP = 0,15 (Celico, 1988; Civita, 2005).

Il Complesso delle lave, costituito dall'Unità di Allumiere, corrisponde in parte ai "Depositi vulcanici della serie







**Figura 9b** - Sezioni idrogeologiche che illustrano schematicamente la suddivisione del Complesso delle lave in compartimenti con permeabilità relativa differente, la circolazione delle acque sotterranee, e la genesi delle sorgenti per limite di permeabilità indefinito al contatto tra compartimenti con grado di permeabilità relativa medio alto e compartimenti con grado di permeabilità relativa scarso. Le sorgenti delle sezioni a) e b) sono quelle minori (Faggeta, Acqua Bianca, Lavatoio), le sorgenti delle sezioni c) (Cinque Bottini) e d) (Trinità) sono quelle maggiori, che alimentavano l'acquedotto di Traiano. 1, Complesso detritico con grado di permeabilità relativa medio alto per porosità; 2, Complesso delle lave con grado di permeabilità relativa per fessurazione e fratturazione medio alto (a) e basso (b); 3, Complesso del Flysch con grado di permeabilità relativa per fratturazione da molto basso a nullo; 4, limite inferiore di tipo impermeabile; 5, limite indefinito di permeabilità; 6, sorgente; 7, punto di captazione di vene di acqua; 8, circolazione delle acque sotterranee.

**Figure 9b** - Hydrogeological sections that schematically illustrate the subdivision of the Lava complex into compartments with different relative permeability, the circulation of groundwater, and the genesis of the springs because of the indefinite permeability limit at the contact between compartments with medium high degree of relative permeability and compartments with low degree of relative permeability. The springs of sections a) and b) are the minor ones (Beechwood, White Water, Washtub), the springs of sections c) (Five Bottini) and d) (Trinità) are the major ones, that fed the Traiano's aqueduct. 1, Detrital complex with medium high degree of relative permeability because of porosity; 2, Lava complex with medium high (a) and low (b) degree of relative permeability because of cracking and fracturing; 3, Flysch complex with degree of relative permeability because of fracturing from very low to zero; 4, lower limit of the impervious type; 5, indefinite permeability limit; 6, spring; 7, point of collection of veins of water; 8, groundwater circulation.

a quelli caratterizzati da un grado di permeabilità relativa basso, separati tramite un *limite di permeabilità indefinito* (Civita, 2005) (Fig. 9b). La conseguente anisotropia idraulica dell'intero ammasso roccioso suggerisce che il CIP di questo complesso è mediamente 0,65 (Celico, 1988; Civita, 2005). Pertanto, l'aliquota di infiltrazione corrisponde al 65% delle precipitazioni efficaci PE, cioè  $65\% \cdot 353,78 = 230$  mm/anno: questo valore è uguale a quello riportato da Capelli et al. (2012b).

Il Complesso detritico, che comprende il deposito antropico e quello eluvio colluviale nella parte superiore alterata del Complesso delle lave, i Depositi fluviali lacustri, e l'Unità di Pian della Regina, mostra permeabilità relativa medio alta per porosità con CIP = 0,80 – 0,90 (Celico, 1988;

Civita, 2005).

Le stratigrafie dei pozzi 1 (profondità 51 m), 2 (profondità 100 m), 3 (profondità 80 m) forniscono ulteriori indicazioni sui complessi idrogeologici, confermando la presenza del Complesso detritico con spessore di 7 – 12 m a tetto della successione. L'ammasso roccioso del Complesso delle lave è alterato, caolinitizzato, e fratturato con spessore 41,5 m nel pozzo 1, fratturato e con spessore 55 m nel pozzo 2, mentre nel pozzo 3 mostra l'alternanza di due livelli poco e molto fratturati il cui spessore complessivo è 70 m. I pozzi 1 e 2 hanno intercettato il substrato impermeabile del Complesso del Flysch e del Complesso delle argille a quota, rispettivamente, 233,5 m s.l.m. (zona intermedia del Fosso della Botte), e 455 m s.l.m. (zona La Bianca) (Fig. 9a)

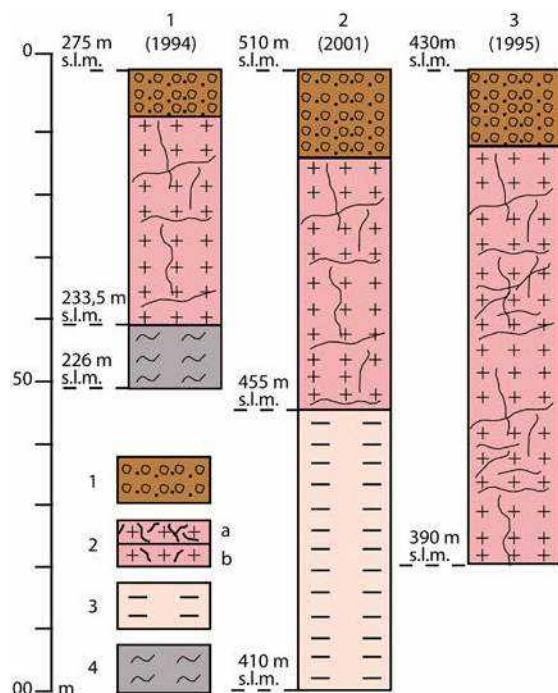
**Tabella 3** – Quota (m s.l.m.), coordinate WGS 84 DMS, portata (Q l/s), e temperatura (T °C) delle sorgenti minori del Complesso delle lave. (\*), non-potabile.**Table 3** - Height (m a.s.l.), WGS 84 DMS coordinates, yield (Q l/s), and temperature (T °C) of the minor springs of the Lava complex. (\*), not drinkable.

Nome	Data	Quota	Coordinate WGS 84 DMS	Q	T	
Lavatoio (L)	04/11/2022	395	42°09'38,77" N	0,16	14,2	
	02/12/2022			0,16	14,2	
	04/01/2023			0,18	14,1	
	03/02/2023			11°56'31,9" E	0,19	14,1
	03/03/2023			0,16	14,2	
	23/04/2023			0,15	14,3	
	04/11/2022			493	42°09'42,7" N	0,027
02/12/2022	0,027	10,7				
04/01/2023	0,028	10,6				
03/02/2023	11°55'14,66" E	0,028	10,6			
03/03/2023	0,026	10,7				
23/04/2023	0,026	10,8				
04/11/2022	460	42°09'11,9" N	0,82			12,6
02/12/2022			0,82	12,6		
04/01/2023			0,83	12,5		
03/02/2023			11°55'26,14" E	0,83	12,5	
03/03/2023			0,81	12,7		
23/04/2023			0,81	12,7		
04/11/2022			485	42°09'37,47" N	0,022	13,3
02/12/2022	0,022	13,3				
04/01/2023	0,023	13,1				
03/02/2023	11°08'42,9" E	0,023			13,1	
03/03/2023	0,022	13,2				
23/04/2023	0,021	13,3				
04/11/2022	490	42°09'13,82" N			0,05	16,8
02/12/2022			0,05	16,8		
04/01/2023			0,06	16,5		
03/02/2023			11°54'20,16" E	0,06	16,4	
03/03/2023			0,05	16,8		
23/04/2023			0,04	16,7		
04/11/2022			535	42°07'53,11" N	0,05	15,6
02/12/2022	0,05	15,6				
04/01/2023	0,06	15,4				
03/02/2023	11°54'13,28" E	0,06			15,3	
03/03/2023	0,05	15,5				
23/04/2023	0,05	15,6				
Le Cantarecce (LC)	04/11/2022	175			42°11'30,17" N	0,06
	02/12/2022		0,06	16,2		
	04/01/2023		0,07	16,1		
	03/02/2023		11°52'27,09" E	0,07		16,1
	03/03/2023		0,06	16,2		
23/04/2023	0,05	16,3				
Acqua del Campaccio (AC)	04/11/2022	203	42°11'2,79" N	0,04	16,3	
	02/12/2022			0,04	16,3	
	04/01/2023			0,05	16,1	
	03/02/2023			11°53'30,04" E	0,05	16,2
	03/03/2023			0,04	16,2	
23/04/2023	0,04	16,3				
StLF	04/11/2022	296	42°10'35,49" N	0,028	17,3	
	02/12/2022			0,028	17,2	
	04/01/2023			0,03	17,1	
	03/04/2023			11°53'30,59" E	0,03	17,1
	03/03/2023			0,029	17,2	
23/06/2023	0,029	17,2				

in posizione marginale rispetto ai domi, mentre il pozzo 3 non ha attraversato il substrato impermeabile. Nel pozzo 1 la portata massima è 0,35 l/s, quella di esercizio non è determinata. Nel pozzo 2 la portata massima è 3 l/s, quella di esercizio 2 l/s. Nel pozzo 3 sono indicati solo due imprecisati livelli di acqua. Pertanto, i valori di portata dei tre pozzi sono molto bassi (Fig. 10).

### Le sorgenti del Complesso delle lave

La suddivisione dell'ammasso roccioso del Complesso delle lave in compartimenti con grado di permeabilità relativa medio alto sovrapposti e/o adiacenti a quelli con grado di permeabilità relativa basso ha favorito l'emergenza di diverse sorgenti con portata  $Q < 0,1$  l/s (sorgenti minori), e  $Q > 5$  l/s (sorgenti maggiori) a quote differenti (Tabella 3). Secondo Camponeschi & Nolasco (1978), che hanno eseguito una rilevante ricerca sulle risorse naturali della regione Lazio, si riconoscevano le seguenti sorgenti di cui riportano solo la *portata stimata*: Faggeta, Acqua Bianca, Le Cantarecce, Acqua del Campaccio, M. Pietroso nel territorio del Comune di Allumiere; Lavatoio nel territorio del Comune di Tolfa. La presente ricerca ha consentito di individuare sei nuove sorgenti, di cui quattro minori (Casa Polveriera 1 e 2, Cave Vecchie, StLF) e due maggiori



**Figura 10** - Stratigrafia dei pozzi 1, 2, 3. 1, Complesso detritico; 2, Complesso delle lave (a, livello molto fratturato; b, livello poco fratturato); 3, Complesso delle argille; 4, Complesso del Flysch.

**Figure 10** - Stratigraphy of wells 1, 2, 3. 1, Detrital complex; 2, Lava complex (a, highly fractured level; b, little fractured level); 3, Complex of clays; 4, Flysch complex.

(Cinque Bottini e Trinità) (Tabella 3 e Fig. 9a).

ACEA Ato 2 indica i dati di seguito riportati per i comuni di Allumiere Zona 1 e Tolfa Zona 1 Poggio delle Croci. Il primo comune “è servito da una collezione di sette fonti sotterranee locali riferibili ad acquiferi di natura vulcanica (vulcaniti acide) eventualmente miscelate con le acque del fiume Mignone potabilizzato a Monte Anciano”. La Zona 1 di Tolfa “è servita da una collezione di quattro sorgenti locali riferibili ad un acquifero di natura vulcanica, da una sorgente locale riferibile ad un acquifero di natura mista (calcareo vulcanica), e da un pozzo locale. A queste vengono saltuariamente aggiunte le acque del fiume Mignone potabilizzate a Monte Anciano”.

Per quanto riguarda il Comune di Allumiere, le parole “fonti sotterranee” non sono chiare e neppure specifiche per indicare la tipologia di acque sotterranee e di sorgenti, e non sono presenti “acquiferi vulcanici”, ma esiste un solo acquifero vulcanico, cioè il Complesso delle lave. Per il Comune di Tolfa, il riferimento ad un acquifero di natura mista calcareo vulcanica è errato perché nella struttura di un singolo acquifero non possono coesistere rocce

sedimentarie, come i calcari, e vulcaniche (lave e rocce piroclastiche). Inoltre, non è indicata l’ubicazione della collezione di sette sorgenti del Comune di Allumiere e di cinque sorgenti del Comune di Tolfa.

#### Le sorgenti minori

Sono state riconosciute nove sorgenti con una portata inferiore a 1 l/s (Tabella 3 e Fig. 9a), di cui sei sono quelle di Camponeschi & Nolasco (1978) con la relativa *portata stimata*: Lavatoio, Q = 1 l/s; Faggeta, Q non indicata; Acqua Bianca, Q = 0,3 l/s; Le Cantarecce, Q = 0,5 l/s; Acqua del Campaccio, Q = 0,1 l/s; M. Pietroso, Q = 1 l/s. La sorgente denominata Cave Vecchie (CV in Tabella 3) ha alimentato l’acquedotto per fornire acqua a Tolfa, progettato dalla Società Italiana per le Condotte d’Acqua nel 1884 (Sgriscia & Sereni, 1989). La ricerca di questi Autori illustra il difficile e tormentato percorso seguito dalla costruzione dell’acquedotto. I dati tecnici reperiti dagli Autori sono solo il profilo plano-altimetrico e la “Pianta topografica Delle sorgenti del Laghetto<sup>8)</sup> in scala 1: 2000 m”, redatta dall’ingegnere Roberto Ceccarelli nel 1887. In questa mappa sono indicati tre gruppi di sorgenti, ma non vi è alcun riferimento alla loro portata.

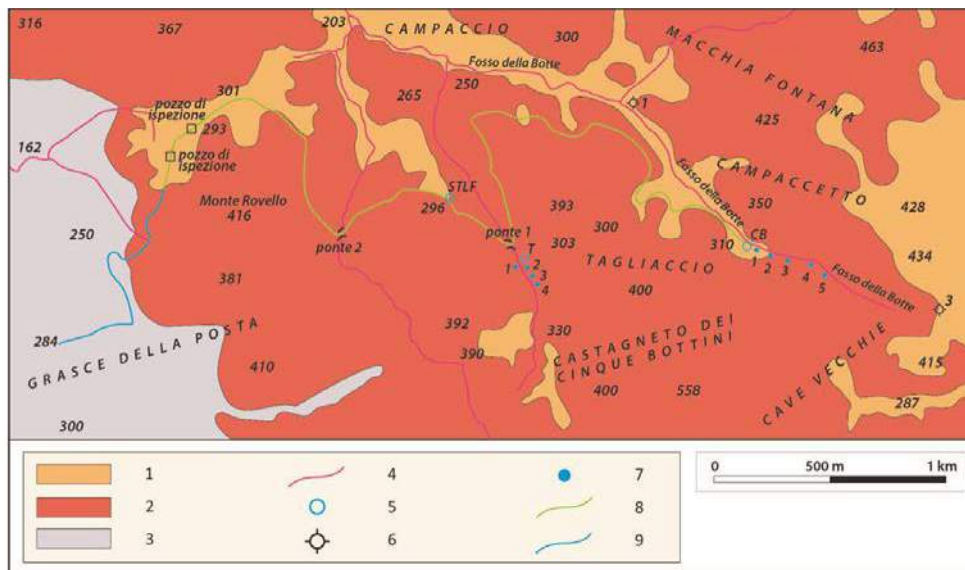
Per quanto riguarda la portata delle sorgenti si osserva quanto di seguito riportato (Tabella 3).

- La sorgente M. Pietroso non è stata individuata perché è estinta.
- Il confronto tra i valori della *portata stimata* delle sorgenti Lavatoio, Faggeta, Acqua Bianca, Le Cantarecce, e Acqua del Campaccio sopra riportati, e i valori della portata misurata nel periodo di osservazione (novembre 2022- aprile 2023; Tabella 3), indica che la portata è diminuita drasticamente in circa 44 anni.
- I valori della portata di tutte le sorgenti suggeriscono un leggero aumento nei mesi di gennaio e febbraio in corrispondenza dell’incremento dei valori delle precipitazioni nei mesi di ottobre, novembre, dicembre, gennaio (Tabella 1 e 2 e Fig. 8).
- La sorgente Acqua Bianca eroga acqua non potabile.

#### Le sorgenti maggiori Cinque Bottini e Trinità

Queste sorgenti, che alimentavano l’acquedotto di Traiano e non riconosciute da Camponeschi & Nolasco (1978), sono ubicate nei rilievi collinari del Castagneto dei Cinque Bottini del territorio del Comune di Allumiere (Fig. 9a e 11). Il reticolo idrografico comprende il Fosso della Botte,

<sup>8</sup> Questo toponimo non è riportato nella cartografia topografica ufficiale dell’Istituto Geografico Militare (IGM) e della Carta Tecnica della Regione Lazio.



**Figura 11** - Carta dei complessi idrogeologici dell'area delle sorgenti Cinque Bottini e Trinità che alimentavano l'acquedotto di Traiano. 1, Complesso detritico con grado di permeabilità relativa medio alto per porosità e Coefficiente di Infiltrazione Potenziale 0,80-0,90 (Olocene); 2, Complesso delle lave con grado di permeabilità relativa per fessurazione e fratturazione da medio alto a basso e Coefficiente di Infiltrazione Potenziale 0,65 (Pliocene superiore – Pleistocene inferiore); 3, Complesso del Flysch con grado di permeabilità relativa per fratturazione da molto basso a nullo e Coefficiente di Infiltrazione Potenziale < 0,5 (Cretacico superiore-Eocene); 4, torrente; 5, sorgente (AC, Acqua del Campaccio; StLF, strada per La Farnesiana; CB, Cinque Bottini; T, Trinità); 6, pozzo; 7, punti di captazione di vene di acqua 8, tracciato dell'acquedotto di Traiano non osservabile; 9, tracciato dell'acquedotto di Traiano osservabile.

**Figure 11** - Map of the hydrogeological complexes of the area of the Five Bottini and Trinità springs that fed the Traiano's aqueduct. 1, Detrital complex with a medium high degree of relative permeability because of porosity and Potential Infiltration Coefficient 0.80-0.90 (Holocene); 2, Lava complex with medium high to low degree of relative permeability because of cracking and fracturing, and Potential Infiltration Coefficient 0.65 (upper Pliocene – lower Pleistocene); 3, Flysch complex with degree of relative permeability because of fracturing from very low to zero and Potential Infiltration Coefficient < 0.5 (upper Cretaceous-Eocene); 4, torrent; 5, spring (AC, Water of the Campaccio; StLF, road to La Farnesiana; CB, Five Bottini; T, Trinità); 6, well; 7, points of collection of veins of water 8, layout of the unobservable Traiano's aqueduct; 9, observable layout of the Traiano's aqueduct.

che lambisce in sinistra la sorgente Cinque Bottini a quota 310 m s.l.m., e il suo torrente tributario di sinistra, con la sorgente Trinità sulla sponda destra a quota 303 m s.l.m. (Fig. 11).

Per quanto riguarda il controllo delle due sorgenti, è necessario ribadire che l'impossibilità di accesso ha impedito di misurare la portata, la temperatura, e i parametri chimico fisici dell'acqua. I dati disponibili, prima della gestione di Acea Ato 2 iniziata alla fine degli anni Cinquanta, sono pochi e distanziati nel tempo. Infatti, Frangipani (1761) indica 11,25 l/s e successivamente 15 l/s senza specificare il mese. Brunori (1990) riporta le seguenti portate: 17,5 l/s in aprile, e 9,5 l/s in agosto 1693, 13 l/s nel 1742, e 7,5 l/s nel 1953, senza specificare il mese. Sistemando questi dati in ordine cronologico, si nota che nel 1693 la portata di aprile è diminuita da 17,5 a 9,5 l/s di agosto (circa il 54%), mentre nel 1742 e 1761 mostra valori simili, compresi tra 11,25 e 13-15 l/s, e nel 1953 raggiunge il valore più basso (7,5 l/s). I dati sopra illustrati indicano che il Complesso delle lave

costituisce un acquifero fessurato e fratturato, sostenuto dal Complesso del Flysch ed in minore misura dal Complesso delle argille con permeabilità relativa molto bassa e/o nulla, che ne costituiscono il limite inferiore di tipo impermeabile. Tale acquifero è caratterizzato da anisotropia idraulica dell'intero ammasso roccioso, connessa alla suddivisione verticale e laterale in compartimenti con un grado di permeabilità relativa da medio alto a basso tramite il limite di permeabilità indefinito (Civita, 2005). Al riguardo, si deve considerare che il Complesso delle lave si è depositato su una morfologia preesistente, modificata dalla intrusione, che ha causato l'emissione delle lave e il sollevamento del Complesso del Flysch e del Complesso delle argille, e attualmente forma spartiacque sotterranei differenti da quelli superficiali più antichi.

Le variazioni dei bassi valori di portata di tutte le sorgenti e dei pozzi sono connesse a quelle dell'andamento delle precipitazioni durante l'anno idrogeologico, cioè il tempo "t" compreso tra due minimi della portata "Q", essendo Q

=  $f(t)$ , nel contesto degli afflussi – deflussi dell'acquifero del Complesso delle lave. Inoltre, tutte le sorgenti sono dovute a *limite di permeabilità indefinito* (Civita, 2005), che controlla la loro quota, compresa tra 175 m s.l.m. (Le Cantarecce) e 535 m s.l.m. (Acqua Bianca). Il contesto idrogeologico e la temperatura pressoché costante dell'acqua delle sorgenti minori, compresa tra circa 10,7°C e 17°C (Tabella 3) suggeriscono che la circolazione delle acque sotterranee si sviluppa prevalentemente in senso verticale seguendo in genere percorsi relativamente brevi. L'entità della portata delle sorgenti è strettamente collegata alle dimensioni geometriche dei compartimenti del Complesso delle lave con permeabilità relativa medio alta: le sorgenti minori sono riferite ai compartimenti con dimensioni ridotte (Fig. 9b, sezioni "a" e "b"), mentre le sorgenti maggiori Cinque Bottini e Trinità sono collegate ai compartimenti con dimensioni più grandi (Fig. 9b, sezioni "c" e "d"). Questo tipo di sorgenti con *limite di permeabilità indefinito* dell'acquifero del Complesso delle lave, connesso alla Provincia Magmatica Toscana, è stato riconosciuto anche nell'acquifero vulcanico del Monte Amiata della stessa provincia magmatica in Toscana meridionale, essendo costituito da un complesso trachitico-dacitico basale più antico e un successivo complesso costituito da domi e colate quarzolattitiche del Pleistocene medio (Mazzuoli & Pratesi, 1963; Ferrari et al., 1996; Senarum Universitatis, 2008; Barazzuoli et al., 2020)).

Pertanto, quanto sopra illustrato suggerisce che il Complesso delle lave, alimentato esclusivamente dalla infiltrazione della pioggia e neve cadute sui rilievi collinari, è un acquifero che contiene corpi idrici sospesi a quote differenti di importanza locale e di limitata estensione, in accordo con Capelli et al. (2012a). L'insieme della captazione delle sorgenti maggiori consentiva una portata significativa, tale da giustificare la costruzione dell'acquedotto per il porto di *Centumcellae*.

### **Osservazioni sui caratteri chimico fisici dell'acqua delle sorgenti**

Tenuto conto dello scopo della ricerca, si ritiene utile fare un breve riferimento ai dati relativi alla composizione chimica della sorgente Acqua del Campaccio riportati da Camponeschi & Nolasco (1978). Si tratta delle analisi effettuate da Carpi nel 1827 e Valcauda nel 1887, nelle quali la composizione dell'acqua è espressa sotto forma di sali e di ossidi, come era di norma espressa all'epoca, mentre in quella del 1933 essa è riportata come cationi ed anioni, ad esclusione del silicio espresso come silice. Al

fine di valutare l'andamento nel tempo della composizione dell'acqua mediante il confronto dei suddetti dati, è stato necessario calcolare le concentrazioni dei cationi e degli anioni più significativi per le analisi del 1827 e 1887. L'analisi del 1827 è caratterizzata dalla prevalenza di  $\text{Ca}^{2+}$  (0,417 g/l) rispetto al  $\text{Fe}^{3+}$  (0,0331 g/l) ed alla silice  $\text{SiO}_2$  (0,0034 g/l), dalla quantità rilevante di  $\text{HCO}_3^-$  (0,6830 g/l), e dal residuo fisso di g/l 1,6723. L'analisi del 1887 mostra un andamento simile con la prevalenza di  $\text{Ca}^{2+}$  (0,3542 g/l) rispetto al  $\text{Fe}^{3+}$  (0,0442 g/l) ed alla silice  $\text{SiO}_2$  (0,027 g/l) cui si associamo una quantità rilevante di  $\text{HCO}_3^-$  (0,9017 g/l) ed un residuo fisso di 1,661 g/l. Le quantità di ferro, bicarbonati e silice presenti nel campione del 1887 sono maggiori di quelle presenti nell'analisi del 1827, con un leggero incremento del rapporto ferro/calcio. Tali differenze potrebbero essere dovute alle metodiche analitiche utilizzate nel 1827 che, piuttosto complesse e meno precise, si sono evolute nel tempo dando una migliore accuratezza e riproducibilità con i dati nel 1887, oltre che all'enorme intervallo di tempo intercorso (60 anni), che potrebbe aver modificato la composizione dell'acqua. Una migliore rispondenza dei dati sembra esistere tra le analisi del 1887 e 1933 (46 anni), anno in cui il modo di riportare i risultati cambia completamente, esprimendoli in cationi ed anioni come oggi. In quest'ultima analisi è evidente una prevalenza di  $\text{Ca}^{2+}$  (0,3105 g/l) rispetto al  $\text{Fe}^{3+}$  (0,0383 g/l) ed alla silice  $\text{SiO}_2$  (0,027 g/l), cui si associa una quantità rilevante di  $\text{HCO}_3^-$  (1,0768 g/l) ed un residuo fisso di 1,648 g/l.

I dati fin qui riportati evidenziano che l'impronta chimica dell'acqua non si è sostanzialmente modificata nell'arco di ben 106 anni, a causa del contatto con le rocce laviche contenenti minerali silicati. In particolare, la prevalenza di calcio rispetto al ferro nell'acqua e la bassa concentrazione di  $\text{SiO}_2$  potrebbero essere dovute al contatto dell'acqua con le lave nelle quali i pirosseni sono più alterati con conseguente diminuzione di FeO ed MgO, e le plaghe di calcite nella pasta di fondo, oltre ad incrementare la quantità di CaO, abbassano il contenuto di  $\text{SiO}_2$ , come evidenziato da De Rita et al. (1997). Nelle analisi sopra riportate non è presente il valore del pH, che, data la presenza di  $\text{CO}_2$ , sicuramente deve essere acido contribuendo così alla solubilizzazione della calcite con rispettivo incremento in acqua sia di  $\text{Ca}^{2+}$  che di  $\text{HCO}_3^-$ .

Per quanto concerne le sette sorgenti del Comune di Allumiere e le quattro sorgenti del Poggio delle Croci gestite da ACEA Ato 2 non sono disponibili dati relativi alle acque che la stessa ACEA Ato 2 utilizza a scopo potabile, mescolandole con quelle del F. Mignone potabilizzate a Monte

Anciano. Le analisi disponibili sono relative alle miscele a scopo potabile realizzate dall'ACEA Ato 2, che, come tali, non possono dare alcuna indicazione circa la composizione dell'acqua delle sorgenti e di quella del F. Mignone prima della loro miscelazione.

**Le opere di presa delle sorgenti Cinque Bottini e Trinità**



**Figura 12** - Bottino di presa della sorgente Cinque Bottini.  
*Figure 12* - Catchment room of the Five Bottini spring.



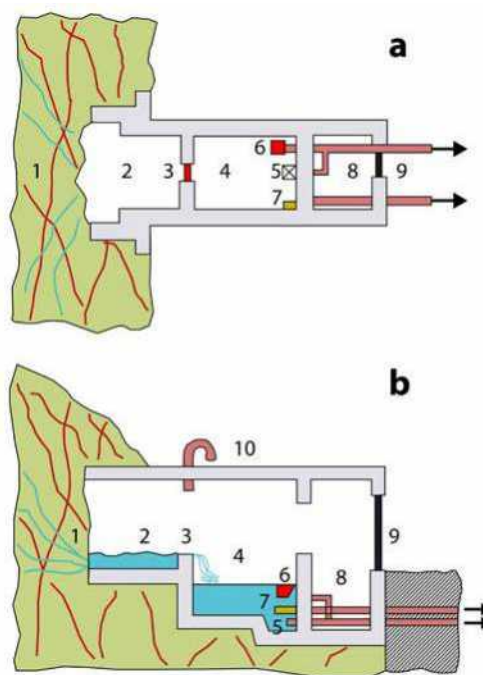
**Figura 13** - Bottino di presa della sorgente Trinità.  
*Figure 13* - Catchment room of the Trinità spring.

Allo scopo di comprendere le modalità di costruzione delle opere di presa delle sorgenti Cinque Bottini e Trinità (Fig. 12 e 13), è utile un breve riferimento preliminare alle tecniche costruttive moderne per confronto con le opere di presa adottate dai tecnici romani.

Le opere di presa comprendono due gruppi (Civita, 2005). Il

primo gruppo si riferisce alle opere di presa direttamente alle sorgenti (bottino di presa, drenaggi addossati), mirate a raccogliere le portate delle sorgenti. Nel secondo gruppo sono comprese le opere di presa che drenano le acque direttamente dall'acquifero, essenzialmente mediante opere orizzontali (gallerie e trincee drenanti) e opere verticali (pozzi). Queste opere sono definite complete o incomplete se interessano o meno il substrato impermeabile alla base dell'acquifero.

Per le opere di presa direttamente alle sorgenti come quelle di Cinque Bottini e Trinità, si verificano due situazioni: sorgente unica ben individuata, ovvero presenza di piccole emergenze e vene sparse in una zona più o meno limitata. Nel primo caso si rimuovono i detriti intorno alla sorgente, si esegue uno scavo nella roccia per ospitare una vasca di raccolta (bottino di presa) in muratura o cemento armato (Fig. 14), e si costruiscono due vasche ad una quota più bassa rispetto al bottino: una per la sedimentazione dei detriti, l'altra di carico con le opere di derivazione. Le opera



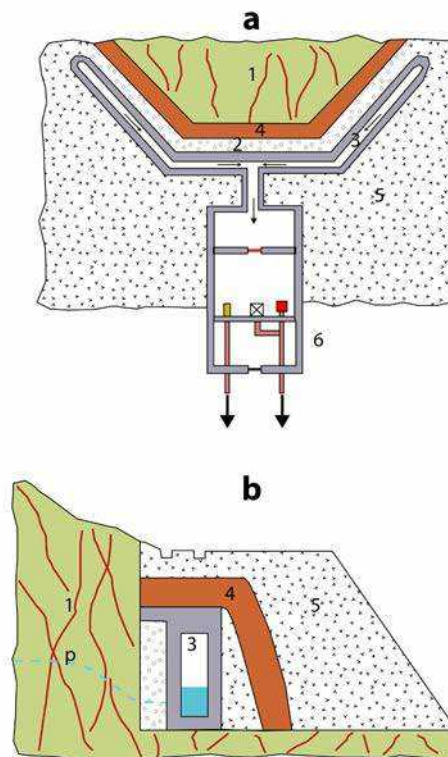
**Figura 14** - Schema del bottino di presa di una sorgente, in pianta (a) e in sezione (b). 1, acquifero; 2, bottino di presa; 3, stramazzo per misura di portata; 4, vasca di carico; 5, scarico di fondo; 6, scarico di troppo pieno; 7, filtro; 8, camera di manovra; 9, sportello di ingresso; 10, condotto di aerazione. Da Civita (2005) modificato.

**Figure 14** - Scheme of the catchment room of a spring, in plan (a) and in section (b). 1, aquifer; 2, catchment room; 3, overfall for measuring the yield; 4, maneuvering chamber; 5, bottom emptying; 6, overflow emptying; 7, filter; 8, maneuvering chamber; 9, inlet door; 10, ventilation pipe. From Civita (2005) modified.

di presa e le vasche con le pareti interne impermeabilizzate sono interrate allo scopo di proteggere la temperatura e la qualità dell'acqua. Nel secondo caso con diverse piccole emergenze le opere di presa sono orizzontali, mediante cunicoli drenanti o trincee a quota inferiore rispetto alle emergenze. In questo ultimo caso sono definite drenaggi addossati (Civita, 2005; Fig. 15).

Le opere di presa delle sorgenti Cinque Bottini e Trinità si riferiscono a vene di acqua captate a quote differenti utilizzando i cunicoli drenanti, quindi rientrano nel secondo caso. Quelle della sorgente Cinque Bottini sono ubicate alle quote 312 m (1), 320 m (2), 335 m (3), 342 m (4), 346 m (5) s.l.m. (Fig. 9b, sezione "c"). Quelle della sorgente Trinità si trovano alle quote 303 m (1), 305 m (2), 310 m (3), 320 m (4) s.l.m. (Fig. 9b, sezione "d"). La captazione delle vene di acqua delle due sorgenti, illustrata da Lulier (1887) in una mappa in scala 1: 400, mostra la rete di cunicoli drenanti costituita dall'"allacciatura delle sorgenti del passo della Vecchia" (Cinque Bottini) e dagli "allacciamenti del Romitorio della Trinità". La prima "allacciatura" comprende "il condotto che riceve i braccioli laterali", un contenitore dell'acqua delle vene captate ("botte antica"), e il "principio del grande acquedotto". Gli "allacciamenti" della Trinità includono il "ponte museo di Traiano", il "purgatore" illustrato in pianta e in sezione longitudinale e trasversale, "l'acquedotto intermedio", il "primo, secondo, e terzo braccio", due "botte con le sorgive", un "bottino per unire l'acqua", un "braccio con l'alberi", e un "braccio con suoi braccioli". Attualmente è possibile (i) riconoscere l'ingresso di un cunicolo drenante (Fig. 16) di fronte al bottino di presa della sorgente Trinità, attribuibile al "primo braccio"; (ii) osservare l'acqua, convogliata nel sottosuolo in canalette con base in laterizio, nei pozzetti profondi mediamente due metri, collocati in prossimità della sponda sinistra del Fosso della Botte per la sorgente Cinque Bottini, e del suo tributario di sinistra per la sorgente Trinità; e infine, (iii) l'acqua che arriva nel recapito del bottino di presa delle sorgenti Cinque Bottini e Trinità (Fig. 12 e 13).

Il sistema dei cunicoli drenanti è stato utilizzato anche nello scavo delle rocce piroclastiche presso il Lago di Bracciano, circa 20 km a est di Allumiere, per costruire il condotto principale, il ramo di adduzione di Vicarello, il ramo delle Sette Botti, e il sistema del Fosso della Calandrina dell'acquedotto che Traiano fece costruire nel 109 - 114 A.D. (Aqua Traiana; a cura di Cifarelli & Marcelli, 2022), cioè subito dopo la costruzione dell'acquedotto per il porto di *Centumcellae*. Pertanto, si può ritenere che le opere di presa delle sorgenti Cinque Bottini e Trinità rientrano nel



**Figura 15** - Schema di un drenaggio addossato, in pianta (a) e in sezione (b). 1, acquifero; 2, vespaio; 3, canaletta prefabbricata; 4, strato di argilla; 5, materiale di riporto; 6, bottino di presa; p, piezometrica. Da Civita (2005) modificato.

**Figure 15** - Scheme of a leaning drainage, in plan (a) and in section (b). 1, aquifer; 2, loose stone drainage; 3, prefabricated small canal; 4, bed of clay; 5, landfill; 6, catchment room; p, piezometric level. From Civita (2005) modified.

secondo caso mediante cunicoli drenanti.

### La copertura boschiva dell'Unità di Allumiere

Una ricerca geopedologica e forestale sul versante settentrionale di M. Piantangeli (Alessandrini et al., 2008) (Fig. 2a), circa 1 km a SE di Tolfa, indica che i suoli sviluppati sulle lave trachandesitiche dell'Unità di Allumiere sono *Xeroubret andico* e *Haploxeralf ultic* secondo la Soil Taxonomy (Usda, 1975 - 1999). Tali suoli mostrano una tessitura franca e franco sabbiosa, humus acido con sostanza organica tipo *moor*, buon contenuto di sostanza organica e di azoto, pH acido e differente saturazione in basi. Tenendo presente la sostanziale omogeneità della composizione mineralogica dell'Unità di Allumiere, si può ragionevolmente ritenere che questi tipi di suoli siano diffusi in tutta l'area costituita dalle lave trachandesitiche di questa unità. A questo tipo di



suoli, fertili ma facilmente erodibili, si addice di più un uso forestale o pascolivo e che, comunque, non comporti il frequente rimescolamento degli orizzonti superficiali conseguenza delle lavorazioni agricole. Anche per questo motivo il territorio del comune di Allumiere è coperto per il 50% da boschi che sono costituiti prevalentemente da querceti. Al di sopra di 400 m s.l.m. compaiono con maggiore frequenza i castagneti mentre nella parte più alta del territorio comunale, oltre 550 m s.l.m., vegetano alcuni lembi di faggeta. La presenza delle diverse specie arboree è determinata, oltre che dalla quota, anche dalla pendenza, dall'esposizione e dalla giacitura dei terreni. Le aree boscate sono spesso inframezzate da pascoli ed altre formazioni vegetali (macchie ed arbusteti). La sorgente Cinque Bottini si trova in un tratto della stretta valle del Fosso della Botte dove la vegetazione forestale è edificata da grandi alberi di faggio (*Fagus sylvatica*) con partecipazione di Carpino bianco (*Carpinus betulus*). La presenza del faggio, specie molto esigente di umidità sia nel suolo che atmosferica, a una quota così bassa (310 m s.l.m.) è conseguenza delle peculiari condizioni microclimatiche e pedologiche presenti nel fondo della stretta vallecola. L'aria fresca e umida che vi si accumula determina il fenomeno dell'inversione termica; di conseguenza, il normale susseguirsi dei tipi di bosco lungo il gradiente altitudinale cambia, e lembi di faggeta possono trovarsi a vivere più in basso rispetto ai querceti e castagneti. Il suolo vulcanico, sciolto e profondo che si accumula nella valle aumenta la disponibilità di acqua e nutrienti per le piante di faggio consentendo loro di crescere in maniera vigorosa. Poco sopra la valle, le condizioni climatiche tornano a essere quelle ordinarie della fascia collinare dei Monti della Tolfa: pertanto riprende il sopravvento il querceto che caratterizza anche l'area attorno alla sorgente Trinità. Una volta abbandonato la valle del Fosso della Botte, il percorso dell'acquedotto in territorio di Allumiere si svolge tutto al di sotto di 300 m s.l.m. attraversando per un lungo tratto un paesaggio dove la vegetazione forestale è costituita da querceti termofili. Si tratta di formazioni forestali dominate da querce caducifoglie quali cerro (*Quercus cerris*) e roverella (*Quercus pubescens*) cui si accompagnano altre specie arboree della fascia basale come il leccio (*Quercus ilex*), il carpino nero (*Ostrya carpinifolia*), l'orniello (*Fraxinus ornus*), l'acero campestre (*Acer campestre*), la fillirea (*Phillyrea latifolia*), l'erica arborea (*Erica arborea*). Questi boschi sono gestiti attraverso il governo a ceduo matricinato e, quindi, tagliati in media ogni venti anni



**Figura 16** - Ingresso di un cunicolo drenante della sorgente Trinità in sinistra del torrente tributario di sinistra del Fosso della Botte. L'asta è lunga 1,5 m.

**Figure 16** - Entrance to a drainage tunnel in front of the Trinità spring on the left of the left tributary torrent of the Torrent of the Botte. The rod is 1.5 m long.

e per questo formati da alberi di ridotte dimensioni ed età. Il sottobosco non è molto ricco quando la copertura arborea è chiusa. Nei primi anni dopo il taglio, la maggiore disponibilità di luce al livello del suolo consente lo sviluppo di diverse specie arbustive come rovo (*Rubus ulmifolius*), pero selvatico (*Pyrus sylvatica*) ginestre (*Cytisus scoparius*, *C. sessilifolius*, *Spartium junceum*), prugnolo (*Prunus spinosa*) biancospino (*Crataegus monogina*), vitalba (*Clematis vitalba*), pungitopo (*Ruscus aculeatus*).

### Il tracciato iniziale dell'acquedotto

E' utile ricordare che Vitruvio (VIII, VI, 1) fornisce le seguenti indicazioni per gli acquedotti: "Esistono tre tipi di condutture: canali in muratura, condotte in piombo, e tubazioni di terracotta. Per il primo caso la costruzione deve essere eseguita con solida muratura e una pendenza compresa tra un quarto e un mezzo piede<sup>[9]</sup> ogni cento (= 29,64 m), dotata di una copertura a volta per proteggere l'acqua dal sole. In prossimità delle mura si costruisca un serbatoio comunicante con tre bacini di immissione per raccogliere l'acqua: nel serbatoio si devono disporre tre condotti ugualmente ripartiti fra i tre bacini di raccolta comunicanti tra loro, in modo che, quando l'acqua sta per traboccare da quelli laterali si riversi in quello centrale". Inoltre, Vitruvio suggerisce (VIII, VI, 3): "Se tra la città e la fonte di approvvigionamento sono presenti rilievi, sarà necessario scavare gallerie facendo attenzione

9

Un piede (pes) = 0,2964 m.

a mantenere la pendenza necessaria. Se il terreno è di natura tufacea o rocciosa è sufficiente scavare un canale, se invece è terroso o sabbioso si crea un rivestimento in muratura sul fondo e sui lati, con relativa copertura a volta, poi si potrà far scorrere l'acqua. Inoltre, si devono creare pozzi di aerazione ad intervalli di centoventi piedi (= 35,6 m) l'uno dall'altro”.

Il tracciato iniziale dell'acquedotto, restaurato dal Papa Innocenzo XII, è riportato con il relativo simbolo nella tavoletta IGM 142 I SE La Farnesiana (Fig. 17)<sup>[10]</sup>, e si sviluppa parallelamente al sentiero tra la sorgente Cinque Bottini e la località Grasceto delle Poste, mentre negli elementi della CTR è riportato con il simbolo di sentiero solo in minima parte. Si evidenzia, inoltre, che negli elementi della CTR mancano anche i simboli di due ponti e delle sorgenti principali. Allo scopo di descrivere gli elementi fondamentali del tracciato, sono state individuate sette sezioni (Fig. 18). Inoltre, si precisa che la sezione 6 è ubicata sul versante settentrionale di M. Rovello nella spessa coltre di deposito eluviale e colluviale (“a” in Fig. 2a), i cui parametri fisico meccanici non erano noti ai i tecnici romani. Pertanto, dopo aver constatato che il deposito eluviale e colluviale, corrispondente al materiale terroso

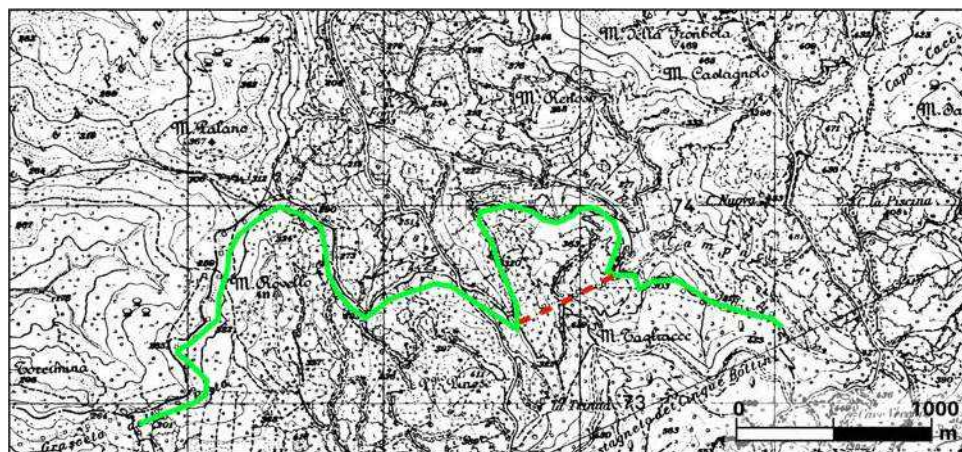
o sabbioso di Vitruvio (VIII, VI, 3), non avrebbe potuto garantire la stabilità e la sicurezza di una galleria, come ipotizzato da Frangipani (1761) e Brunori (1990), i suddetti tecnici hanno deciso di scavare una trincea a cielo aperto allo scopo di facilitare l'approvvigionamento del materiale, la progressione della costruzione del canale (*specus*) dell'acquedotto mediante calcestruzzo<sup>[11]</sup>, e mantenere la corretta pendenza del canale. Per la costruzione del canale, in cui erano inseriti due pozzi di ispezione (Fig. 18), sono state necessarie casseforme prodotte con il legname del bosco, costituito da querce e castagni. Quando sono terminati i lavori del canale, la trincea è stata rinterrata con il materiale eluvio colluviale scavato in precedenza. Il sistema della trincea a cielo aperto è stato utilizzato anche per l'acquedotto di Traiano presso il Lago di Bracciano, sopra ricordato (Aqua Traiana; a cura di Cifarelli & Marcelli, 2022). Le quote del tracciato iniziale del canale dell'acquedotto sono riferite alla sua base.

**Sezione 1.** Dalla sorgente Cinque Bottini (ACEA Ato 2) (progressiva 0 m; quota 310 m s.l.m.; DMS 42°10'29,47" N - 11°54'46,42"E) alla quota 301 m s.l.m. (progressiva 700 m; DMS 42°10'35,18" N. 11°54'25,37" E). Distanza 700 m. Dislivello 8,8 m. Pendenza 0,012, ovvero 1,2 %.

**Sezione 2.** Dalla quota 301 m s.l.m. (progressiva 700 m) al ponte 1, costituito da tre archi, il cui asse, lungo 35 m, è orientato N75°O (progressiva 2505 m; quota 299,4 m s.l.m.;

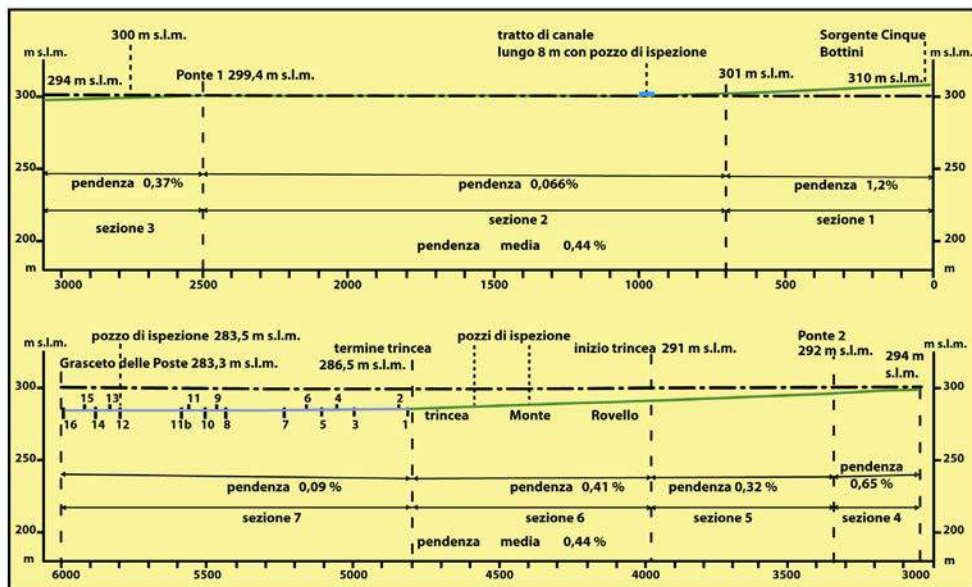
**10** Si evidenzia che nella tavoletta IGM 142 I SE La Farnesiana il tracciato originale della zona di M. Tagliacce, illustrato nelle figure 1 in basso e 17, è stato sostituito per mezzo della variante della galleria omonima. Il tracciato originale è stato riportato anche nella Figura 17 per completezza dell'informazione.

**11** Il calcestruzzo è composto di inerti millimetrici di lava fino alla sezione 6 (Fig. 18), successivamente da calcari marnosi, legati con calce (prova con HCL diluito 10%).



**Figura 17** - Il tracciato iniziale originale dell'acquedotto è evidenziato nello stralcio della tavoletta IGM142 I SE La Farnesiana mediante la linea verde. La linea tratteggiata in rosso indica la variante della galleria di M. Tagliacce, riportato nello stralcio della tavoletta.

**Figure 17** - The original initial layout of the aqueduct is highlighted in the excerpt of the sheet IGM 142 I SE La Farnesiana by means of the green line. The dotted line in red indicates the variant of the Mount Tagliacce tunnel that replaced the original layout.



**Figura 18** - Ricostruzione del tracciato dell'acquedotto di Traiano dalla sorgente Cinque Bottini alla località Grasceto delle Poste. I segmenti riconoscibili sono indicati in azzurro. I numeri della sezione 7 indicano i sedici segmenti del canale riscontrati lungo il sentiero dal pozzo di ispezione della trincea M. Rovello alla località Grasceto delle Poste.

*Figure 18* - Reconstruction of the Traiano's aqueduct from the Five Bottini spring to Grasceto delle Poste. The recognizable segments are indicated in light blue. The numbers in section 7 are referred to the sixteen segments of the canal found along the path from an inspection well of the Mount Rovello trench to Grasceto delle Poste.

DMS della spalla nordoccidentale  $42^{\circ}10'26,5''$  N -  $11^{\circ}54'2,7''$  E). Distanza 1815 m. Dislivello 1,2 m. Pendenza 0,00066, pari a 0,066 %. Alla progressiva 975 m (DMS  $42^{\circ}10'44,88''$  N -  $11^{\circ}54'23,16''$  E) un tratto di canale con la calotta rotta, lungo 8 m, largo 0,6 m, comprende un pozzo di ispezione<sup>[12]</sup> con dimensioni 0,5 x 0,6 m, la cui profondità non è valutabile per la presenza di abbondanti detriti.

**Sezione 3.** Dal ponte 1 (progressiva 2505 m) alla quota 294 m s.l.m. (progressiva 3045 m; DMS  $42^{\circ}10'23,16''$  N -  $11^{\circ}52'39,54''$  E). Distanza 535 m. Dislivello 2 m. Pendenza 0,0037, ovvero 0,37 %.

**Sezione 4.** Dalla quota 294 m s.l.m. (progressiva 3045 m) al ponte 2, costituito da due archi, il cui asse, lungo 15 m, è orientato N55°E (progressiva 3350 m; quota 292 m s.l.m.; DMS della spalla nordoccidentale  $42^{\circ}10'30,4''$  N -  $11^{\circ}53'29,8''$  E; DMS della spalla sudorientale  $42^{\circ}10'30,66''$  N -  $11^{\circ}52'30,60''$  E). Distanza 310 m. Dislivello 2 m. Pendenza 0,0065, pari a 0,65 %.

**Sezione 5.** Dal ponte 2 (progressiva 3350 m) all'inizio della trincea M. Rovello (progressiva 3965 m; quota 290 s.l.m.; DMS  $42^{\circ}53'12,12''$  N -  $11^{\circ}10'48,06''$  E). Distanza 620 m. Dislivello 2 m. Pendenza 0,0032, ovvero 0,32 %.

**Sezione 6.** Dall'inizio della trincea M. Rovello (progressiva 3695 m) al termine della trincea M. Rovello (progressiva 4800 m; quota 286,5 m s.l.m.; DMS  $42^{\circ}10'36,1''$  N -  $11^{\circ}52'56,1''$  E). Distanza 835 m. Dislivello 3,5 m. Pendenza 0,0041, pari a 0,41 %. Alle progressive 4395 e 4585 m sono presenti due pozzi di ispezione (quota 291 e 290 m s.l.m.; DMS  $42^{\circ}10'41,12''$  N -  $11^{\circ}52'57,62''$  E;  $42^{\circ}10'44,74''$  N -  $11^{\circ}53'1,54''$  E) con dimensioni 0,6 x 0,7 m e profondi, rispettivamente, 1,8 m e 5,2 m.

**Sezione 7.** Dal termine della trincea M. Rovello (progressiva 4800 m) alla località Grasceto delle Poste (progressiva 6000 m; quota 283,3 m s.l.m.; DMS  $42^{\circ}10'14,85''$  N -  $11^{\circ}52'36,46''$  E). Distanza 1185 m. Dislivello 1,1 m. Pendenza 0,0009, ovvero 0,09 %.

Seguendo il sentiero dai pozzi di ispezione della sezione 6 alla località Grasceto delle Poste, dove è presente un manufatto cubico in cemento con porta in ferro a quota 284,1 m s.l.m., sono stati riconosciuti e numerati progressivamente sedici segmenti del canale tra le quote 284,8 e 283,3 m s.l.m. (Fig. 18). La parte superiore del canale di

**12** Sui quattro lati della stampa dell'ingegnere Carlo Fontana, ricordata nella nota 7, sono riportate immagini secondarie che illustrano elementi particolari. A sinistra: "Acquedotto nuovo con suoi Pozzi", "Botte per allacciar le Acque", "Figura del Condotto in Piombo ritrovato in Civitavecchia"; A destra: "Acquedotto sotterraneo con suoi Pozzi", "Ricettacoli di grandissima capacità e diramat.ne delle acque in vicinanza di Civitavecchia"; "Fontana da situarsi sul Porto".

tutti i segmenti è parzialmente rotta.

**Segmento 1.** DMS 42°10'36,1" N - 11°52'56,1" E. Progressiva 4800 m. Larghezza 0,54 m. Altezza non valutabile per la presenza di abbondanti detriti.

**Segmento 2.** DMS 42°10'35,58" N - 11°52'55,8" E. Progressiva 4830 m. Larghezza 0,54 m. Altezza non valutabile per la presenza di abbondanti detriti.

**Segmento 3.** DMS 42°10'31,14" N - 11°52'53,76" E. Progressiva 4990 m. Larghezza 0,54 m. Altezza non valutabile per la presenza di abbondanti detriti. Su una parete è presente un frammento di malta idraulica (opus signinum).

**Segmento 4.** DMS 42°10'30,30" N - 11°52'54,0" E. Progressiva 5055 m. Larghezza 0,54 m. Altezza non valutabile per la presenza di abbondanti detriti.

**Segmento 5.** DMS 42°10'29,04" N - 11°52'52,98" E. Progressiva 5105 m. Larghezza 0,54 m. Altezza non valutabile per la presenza di abbondanti detriti.

**Segmento 6.** DMS 42°10'27,84" N - 11°52'51,36" E. Progressiva 5160 m. Larghezza 0,54 m. Altezza non valutabile per la presenza di abbondanti detriti.

**Segmento 7.** DMS 42°10'2" N - 11°52'47,46" E. Progressiva 5235 m. Dimensioni non valutabili per la presenza di abbondanti detriti.

**Segmento 8.** DMS 42°10'22,44" N - 11°52'49,74" E. Progressiva 5435 m. Dimensioni non misurabili.

**Segmento 9.** DMS 42°10'21,84" N - 11°52'49,32" E. Progressiva 5465 m. Comprende due tratti attaccati. Dimensioni non misurabili.

**Segmento 10.** DMS 42°10'20,64" N - 11°52'49,62" E. Progressiva 5510 m. Larghezza 0,54 m. Dimensioni non valutabili per la presenza di abbondanti detriti.

**Segmento 11.** DMS 42°10'50,40" N - 11°52'18,66" E. Progressiva 5565 m. Larghezza 0,54 m. Altezza non valutabile per la presenza di abbondanti detriti.

**Segmento 11b.** DMS 42°10'18,30" N - 11°52'50,10" E. Progressiva 5580 m. Con doppio canale non ispezionabile.

**Segmento 12.** DMS 42°10'17,10" N - 11°52'44,58" E. Progressiva 5800 m. E' presente un pozzo di ispezione, nella cui parte inferiore si osserva il canale con copertura a volta, come suggerito da Vitruvio (VIII, VI, 3). Dimensioni 0,54 x 0,54 m, altezza totale 1,20 m, di cui 0,7 m attribuiti al canale.

**Segmento 13.** DMS 42°10'16,62" N - 11°52'43,44" E. Progressiva 5830 m. Larghezza 0,54 m. Altezza non valutabile per la presenza di abbondanti detriti.

**Segmento 14.** DMS 42°10'15,84" N - 11°52'41,10" E. Progressiva 5880 m. Non ispezionabile.

**Segmento 15.** DMS 42°10'15,60" N - 11°52'39,30" E. Progressiva 5925 m. Con doppio canale. Il canale sinistro è largo

0,54 m, quello destro 0,8 m, mentre la profondità non è valutabile per la presenza di abbondanti detriti.

**Segmento 16.** DMS 42°10'14,85" N - 11°52'36,46" E. Progressiva 6000 m. Si trova alla base del manufatto e le dimensioni non sono misurabili.

### **La variante del tracciato dell'acquedotto dovuta al Papa Innocenzo XII (1756, 1757, 1758; Frangipani, 1761)**

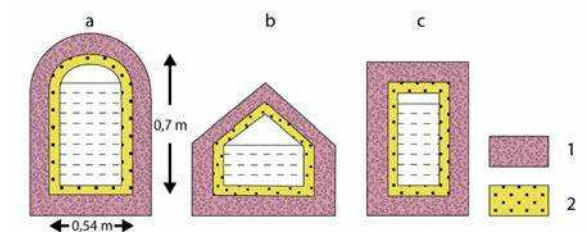
La variante è costituita dalla galleria Tagliaccio, il cui portale nordorientale si trova a quota 302 m s.l.m. La distanza dalla sorgente Cinque Bottini al portale nordorientale è 580 m con dislivello 6 m, e la pendenza media del canale è 1%. Il portale sudoccidentale della galleria è ubicato a quota 300,7 m s.l.m. e a 42,50 m dalla spalla sudorientale del ponte 1, con altezza 1,80 m, larghezza 1,60 m. La lunghezza della galleria dal portale nordorientale a quello sudoccidentale è 510 m con dislivello 1,3 m e pendenza media 0,25%. Inoltre, è presente una cisterna per la raccolta dell'acqua delle sorgenti Cinque Bottini e Trinità, adiacente alla spalla sudorientale del ponte 1 (progressiva 3350 m; quota 292 m s.l.m.). La cisterna è lunga 3,42 m, larga 3,04 m, alta 1,45 m. La distanza della cisterna dalla spalla nordoccidentale del ponte è 125 m con dislivello 0,40 m, e pendenza media 0,32%.

Quanto sopra illustrato indica che il tracciato dell'acquedotto dalla sorgente Cinque Bottini alla località Grasce-to delle Poste, lungo 6000 m, è stato costruito seguendo le indicazioni di Vitruvio (VIII, VI, 1, 3). La pendenza del canale (*libramentum, mensura declivitatis*), in cui l'acqua scorre mediante la sola forza della gravità, è compresa tra un massimo di 1,2% nella sezione 1 ed un minimo di 0,09% nella sezione 7 con media 0,44%, ed è in accordo con Vitruvio (VIII, VI, 1), che suggerisce un valore della pendenza "compreso tra un quarto e un mezzo piede ogni cento" (tra 0,0741 e 0,1482 m ogni 29,64 m), cioè non inferiore a 0,05%. Al riguardo si evidenzia la grandissima abilità dei tecnici romani, che hanno realizzato la corretta pendenza del canale lungo tutto il tracciato dell'acquedotto (35,5 km) utilizzando per la livellazione il *corobate*, la cui struttura è descritta da Vitruvio (VIII, V, 1 - 3). Inoltre, sono stati riconosciuti quattro pozzi di ispezione alle progressive 975 m, 4395 m, 4585 m, e 5800 m.

La resistenza passiva che contrasta il movimento dell'acqua è connessa essenzialmente all'attrito sul fondo e sulle pareti del canale. A parità di velocità la portata è proporzionale alla sezione, e a parità di sezione l'attrito minimo si riscontra dove il perimetro bagnato è minimo. L'acqua deve vincere le perdite di carico, cioè la resistenza allo scorrimento, e di conseguenza defluire con velocità

ideale per mantenere la stabilità dell'acquedotto. Allo scopo di evitare tale rischio, era necessario che nell'opera di captazione (incile) fosse inserita una piccola quantità di acqua lentamente.

Circa la sezione del canale, si evidenzia che la forma geometrica della copertura è osservabile solo nel segmento 12, dove è di tipo a volta. Secondo Pace (2010) la copertura non era costante lungo tutto il tracciato, ma poteva essere a volta, piana, e triangolare. Nella Figura 19 sono illustrati i tre tipi di sezione con area equivalente, ma diverso raggio idraulico<sup>13</sup>: "b" è la sezione con minima perdita di carico, caratterizzata da altezza metà della base; "a" è la sezione con la copertura a volta del segmento 12 della sezione 7; "c" è la sezione con massima perdita di carico. La perdita di carico è molto importante per i seguenti motivi:



**Figura 19** - Sezioni con uguale flusso e differenti coperture del canale dell'acquedotto. 1, calcestruzzo; 2, malta idraulica.

**Figure 19** - Sections with equal flow and different covers of the aqueduct canal. 1, concrete; 2, hydraulic mortar.

cità dell'acqua, e quindi di portata, si ottiene una quota maggiore in città; (ii) un costo minore per la costruzione del canale, perché il perimetro bagnato nella sezione del canale diminuisce. Pertanto, i tre parametri pendenza, perdite di carico e sezione del canale sono essenziali per il calcolo del canale di un acquedotto.

### La cisterna terminale dell'acquedotto

Questa struttura idraulica (coordinate WGS 84 DMS 42°6'11,14" N - 11°31'42,24" E), ubicata nella Caserma "Giorgi" del Centro Simulazione e Validazione (Ce. Si. Va.) dell'Esercito Italiano a quota 45 m s.l.m. a Civitavecchia e circa 800 m dal porto di *Centumcellae* costruito da Traiano (Fig. 20), mostra forma geometrica prismatica con il lato maggiore orientato in direzione NE - SO, e volte a botte. Allo scopo di proteggere la temperatura e la qualità dell'acqua, la cisterna è stata costruita nel sottosuolo,

**13** Il raggio idraulico è il rapporto (R) tra l'area della sezione (A) e il perimetro bagnato (P). Il minimo attrito si riscontra nei punti in cui il perimetro bagnato è minimo e, di conseguenza, il raggio medio è massimo.

costituito dal Membro di Poggio Vivo del Flysch della Tolfa, alla profondità di circa 6 m. La cisterna è divisa mediante un muro nei due vani "a" e "b" (Fig. 21), che includono due pilastri con analoga forma geometrica prismatica e un tetto con volte.

Le dimensioni dell'altezza dei due vani sono state definite mediando i valori dei punti più bassi e di quelli più alti delle volte. Il pavimento, i muri e il tetto dei due vani sono rivestiti dalla malta idraulica dell'*opus signinum* con spessore 8 cm e mostrano il colore marrone rosso fino a circa 5 m di altezza, dovuto alla presenza dello ione ferro nell'acqua delle sorgenti del Complesso delle lave (Fig. 22). L'asportazione di una parte della malta idraulica nel muro di un lato maggiore del vano "b" ha messo in luce il paramento in *opus reticulatum* con conci squadrati di calcare marnoso del Flysch della Tolfa. Un tubo di piombo con diametro interno di 10 cm consentiva il deflusso dell'acqua attraverso il muro tra i vani "a" e "b". Un secondo tubo di piombo con diametro interno 24 cm, che attraversa il muro esterno del vano "a", era collegato al canale dell'acquedotto per il deflusso dell'acqua verso il porto. La volta del vano "b" mostra una apertura, riconoscibile in superficie, utilizzata sia per collegare il canale dell'acquedotto al vano "b", consentendo il deflusso dell'acqua nel suo interno, sia per la manutenzione. Sono altresì presenti in ciascun vano quattro aste metalliche verticali con sezione circolare, inserite nella muratura delle volte; due aste terminano a circa 1,5 m dal pavimento, mentre le altre due sono collegate ai tubi di piombo. Queste aste, la cui data di installazione è incerta, fanno verosimilmente parte di un meccanismo idoneo a manovrare una saracinesca per regolare il deflusso dell'acqua tra i due vani e verso l'esterno.

Dimensioni del vano "a": lato maggiore 12,320 m, lato minore 8,686 m, altezza media 5,7 m. Dimensioni del pilastro 1: larghezza 1,19 m, altezza media 5,7 m. Volume del pilastro 1:  $1,19 \times 1,19 \times 5,7 = 8,1 \text{ m}^3$ . Dimensioni del pilastro 2: larghezza 1,20 m, altezza media 5,7 m. Volume del pilastro 2:  $1,20 \times 1,20 \times 5,7 = 8,20 \text{ m}^3$

Dimensioni del vano "b": lato maggiore 12,322 m, lato minore 8,694 m, altezza media 5,7 m. Dimensioni del pilastro 1: larghezza 1,21 m, altezza media 5,7 m. Volume del pilastro 1:  $1,21 \times 1,21 \times 5,7 = 8,34 \text{ m}^3$ . Dimensioni del pilastro 2: larghezza 1,22 m, altezza media 5,7 m. Volume del pilastro 2:  $1,22 \times 1,22 \times 5,7 = 8,48 \text{ m}^3$

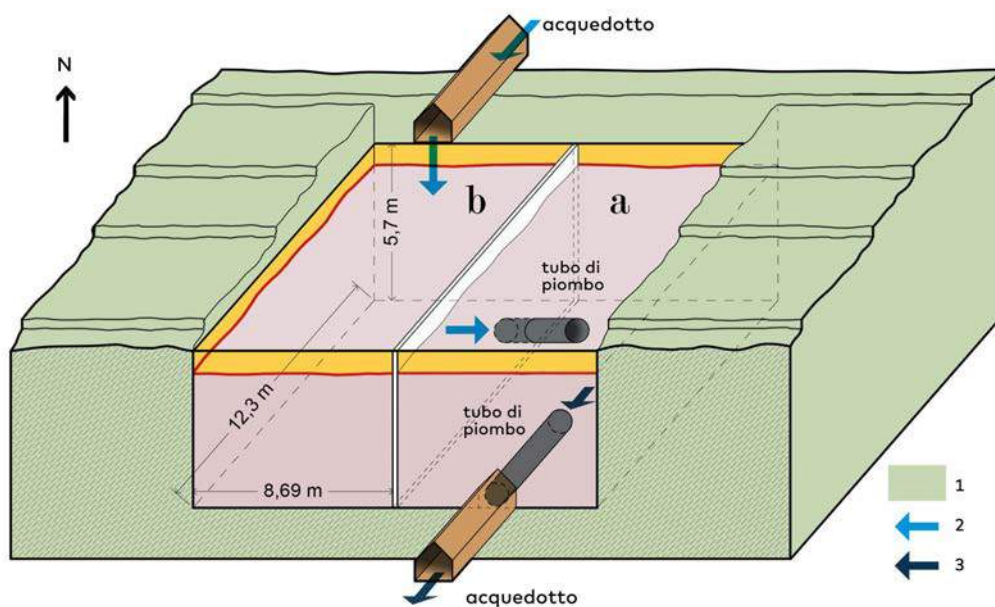
Volume del vano "a":  $12,320 \times 8,686 \times 5,7 = 609,9 \text{ m}^3$

Il volume interno del vano "a" ( $609,9 \text{ m}^3$ ), al netto del volume dei due pilastri ( $16,3 \text{ m}^3$ ), è  $593,6 \text{ m}^3$ .



**Figura 20** - Ubicazione della cisterna e del segmento terminale dell'acquedotto presso il porto romano a Civitavecchia.

*Figure 20* - Location of the terminal cistern and segment of aqueduct at the Roman port in Civitavecchia.



**Figura 21** - La cisterna costruita nel sottosuolo con i vani "a" e "b". 1, Flysch della Tolfa – Membro di Poggio Vivo; 2, flusso dell'acqua in entrata; 3, flusso dell'acqua in uscita.

*Figure 21* - The cistern was built underground with the rooms "a" and "b". 1, Tolfa Flysch – Poggio Vivo Member; 2, incoming water flow; 3, outgoing water flow.

Volume del vano "b":  $12,322 \times 8,694 \times 5,7 = 610,62 \text{ m}^3$

Il volume interno del vano "b" ( $610,62 \text{ m}^3$ ), al netto del volume dei due pilastri ( $16,82 \text{ m}^3$ ) è  $593,8 \text{ m}^3$ .

La cisterna è il recapito terminale dell'acquedotto. L'acqua defluiva dal canale dell'acquedotto nel vano "b" della cisterna, che svolgeva la funzione di *piscina limaria*, consentendo la decantazione delle particelle in sospensione. Il percorso dell'acqua in uscita avveniva dal vano "b" verso il vano "a" mediante il tubo di piombo che attraversa il muro di separazione dei due vani, e successivamente dal vano "a" verso il canale dell'acquedotto mediante il secondo tubo di piombo. Pertanto, la cisterna non può essere considerata una *castellum aquae* o *castellum divisorium*, come ipotizzato da Brunori (1990), la cui funzione era di distribuire l'acqua alle numerose utenze pubbliche e subordinatamente a quelle private (Pace, 2010). Il colore marrone rosso dei muri dei due vani fino a circa 5 m di altezza indica chiaramente che il livello dell'acqua non superava mai tale limite (Fig. 22).

### Discussione e Conclusioni

Il territorio dei Monti della Tolfa è caratterizzato da colline con elevata energia del rilievo, in cui sia la natura litologica con rilevante componente argillosa del Flysch della Tolfa e lapidea delle lave dell'Unità di Allumiere, sia il reticolo idrografico, costituito da corsi d'acqua con regime torrentizio ed elevato gradiente, sono responsabili dell'erosione lineare con il relativo trasporto del carico solido, e dello sviluppo di movimenti franosi in diverse zone del territorio comunale di Allumiere e Tolfa. Questa configurazione orografica, la sua instabilità morfologica, e la copertura boschiva, verosimilmente più estesa di quella attualmente presente nei Monti della Tolfa, sono stati attentamente valutati dai tecnici romani che hanno progettato l'acquedotto e successivamente eseguito i lavori per la sua realizzazione. Prima della apertura dei cantieri dell'acquedotto è stato necessario costruire strade di servizio, eseguire la livellazione del tracciato dell'acquedotto mediante il *corobate* e il contemporaneo taglio del bosco, in particolare nei primi sei chilometri del tracciato, e provvedere ad aprire alcune cave per estrarre la pietra e il materiale sabbioso e quello argilloso, necessari alla produzione degli inerti, della calce, dei mattoni, e alla preparazione del calcestruzzo e della malta idraulica (*opus signinum*). A tale scopo si evidenzia che il materiale eluviale e colluviale prodotto dalla alterazione delle lave dell'Unità di Allumiere, e le rocce calcaree e marnose del Flysch della Tolfa sono



**Figura 22** - Vano "a" della cisterna con i due pilastri. Si nota il colore marrone rosso sul pavimento e sui muri fino a circa 5 metri di altezza.  
Figure 22 - Room "a" of the cistern with the two pillars. Note the red brown color on the floor and walls up to about 5 meters in height.

risultati particolarmente utili e facilmente disponibili. La captazione delle vene di acqua delle sorgenti Cinque Bottini a quota 310 m s.l.m. e Trinità a quota 303 m s.l.m. è eseguita mediante i cunicoli drenanti e le loro diramazioni convogliati in tre cunicoli, i contenitori per le sorgenti e la raccolta dell'acqua, dei quali uno è munito di depuratore. L'acqua defluisce nel sottosuolo in canalette con base in laterizio e arriva nel recapito dei bottini di presa delle sorgenti Cinque Bottini e Trinità. Per quanto riguarda la costruzione e l'alloggiamento della forma del canale e della cisterna terminale, il cantiere è organizzato in trincea a cielo aperto allo scopo di agevolare sia l'approvvigionamento del materiale, sia la progressione della costruzione dal basso verso l'alto. Per la produzione della calce si usavano fornaci alimentate con l'abbonante legname derivato dal taglio del bosco, che è stato utilizzato anche per approntare le casseforme per il calcestruzzo, le centine per costruire gli archi dei ponti, e le paratie per il contenimento provvisorio di scavi con dimensioni rilevanti, come quello in trincea di M. Rovello, e per l'alloggiamento della cisterna terminale. Nella zona della sorgente Cinque Bottini Brunori (1990) ha evidenziato la presenza di cippi, distanziati 200 m, con la lettera "V" su ambedue i lati, forse per indicare la fascia di suolo pubblico di rispetto relativa al tracciato dell'acquedotto. Le pareti della sezione interna del canale con forma geometrica a volta e della cisterna terminale sono rivestite con la malta idraulica (*opus signinum*). L'esercizio dell'acquedotto, come accade attualmente in quello moderno, consiste soprattutto nel monitoraggio (i) della impermeabilizzazione con la malta idraulica (*opus signinum*) di tutte le strutture, (ii) delle portate, delle opere di presa, dei livelli e della torbidità dell'acqua delle sorgenti

Cinque Bottini e Trinità, (iii) della cisterna per la raccolta della loro acqua presso il ponte 1, e (iv) della cisterna terminale. Particolare cura è stata dedicata al controllo della velocità dell'acqua nel canale, che deve scorrere con moto laminare e vincere le perdite di carico, cioè la resistenza allo scorrimento, per mantenere la stabilità dell'acquedotto. Pertanto, era necessario inserire nelle opere di captazione una piccola quantità di acqua lentamente. La manutenzione dell'acquedotto è costituita da molte attività allo scopo di mantenere tutte le sue parti in efficienza e funzionali. Il controllo del canale avveniva mediante gli appositi pozzi di ispezione, e la cisterna terminale era soggetta a manutenzione periodica, essenzialmente per eliminare l'accumulo delle particelle decantate dall'acqua. Lo stato di conservazione dell'acquedotto, anche a seguito dei lavori di restauro dovuti a Papa Innocenzo XII nel 1756 – 1758, è complessivamente buono, tenendo presente che esso ha fornito acqua a Civitavecchia sino alla fine degli anni Cinquanta.

I risultati della ricerca, eseguita mediante le tecniche della Geoarcheologia, consentono di colmare la rilevante lacuna degli studi precedenti relativa (i) al contesto geologico e idrogeologico del territorio dei Monti della Tolfa, in cui è ubicato l'acquedotto lungo 35,5 km, in particolare il suo tracciato iniziale (fino a 6000 m dalle sorgenti), che l'imperatore Traiano ha fatto costruire per addurre acqua al porto di *Centumcellae*, (ii) alla tipologia delle opere di presa delle sorgenti, (iii) alla reale funzione della cisterna terminale dell'acquedotto

### Ringraziamenti

La ricerca è stata supportata dall'Associazione Nazionale per gli Interessi del Mezzogiorno d'Italia (ANIMI). Gli Autori sono grati ai seguenti Enti e persone: Rossella Zaccagnini ed Enrico Ciavoni della Soprintendenza Archeologica, Belle Arti e Paesaggio per la Provincia di Viterbo e l'Etruria Meridionale, e Fabrizio Santillo del Centro di Simulazione e Validazione dell'Esercito Italiano (Ce. Si. Va.) presso Civitavecchia, per l'accesso alla cisterna dell'acquedotto; Angelo Regnani per le preziose indicazioni relative sia al tracciato dell'acquedotto, sia all'ubicazione delle sorgenti; Giuseppina Favella e Luca Chiocchini per il supporto alle numerose operazioni sul terreno, e quest'ultimo anche per l'elaborazione dei dati della stazione termo-pluviometrica di Allumiere; il Dipartimento III "Ambiente e Tutela del Territorio: Acqua-Rifiuti-Energia-Aree Protette" Servizio 2 - "Tutela risorse idriche, aria e energia" della Città

Metropolitana di Roma Capitale per la stratigrafia di un pozzo; Giulio Fancello dell'Agenzia Regionale di Protezione Civile – Area Prevenzione. Pianificazione e Previsione – Centro Funzionale Regionale, per avere fornito i dati della stazione termo-pluviometrica di Allumiere; Giovanni Savarese, Paolo Di Stefano e Francesco Madonna per la composizione grafica delle figure.

### ORCID

Ugo Chiocchini: <http://orcid.org.0000-0003-4106-3350>

### Contributo degli Autori

Ugo Chiocchini ha progettato e supervisionato la ricerca, ha eseguito il rilevamento geologico e idrogeologico dei Monti della Tolfa, il rilevamento del tracciato iniziale e della cisterna terminale dell'acquedotto, ha acquisito i dati della stazione termo-pluviometrica di Allumiere, e ha elaborato i dati dei pozzi. Fedele Manna ha curato le osservazioni sui caratteri chimico fisici dell'acqua delle sorgenti. Luigi Portoghesi ha svolto l'indagine sulla copertura boschiva dell'Unità di Allumiere. Tutti gli autori hanno collaborato alla revisione del manoscritto.

### Riferimenti bibliografici

- Abbate E., Sagri M. (1970) The eugeosynclinal sequences. *Sedimentary Geology*, 4, 251 – 340.
- Alberti A., Bertini M., Del Bono G., Nappi G., Salvati L. (1970) Note illustrative del Foglio 136 Tuscania e 142 Civitavecchia scala 1: 100.000 della Carta Geologica d'Italia. Servizio Geologico d'Italia. Poligrafico & Cartevalori, Ercolano (Napoli), 141 p.
- Alessandrini A., Blasi S., Biondi F., Chiocchini U., Di Filippo A., Eusepi G., Piovesan G., Santarelli G. (2008) Geopedologia e dendroauxoclimatologia di cedui di oltre turno. *Ambiente e Territorio*, anno V – novembre-dicembre, 6, 14 - 18.
- Ambrosi U., Bono P., Capelli G., Goletti M. (1984) Carta Idrogeologica (scala 1: 200.000), Carta della Idrologia di Superficie, Carta dei Topoietti e delle Temperature (scala 1: 400.000) della regione vulcanico-sedimentaria del Lazio nordoccidentale e della Toscana meridionale p.p.: idrogeologia e idrologia di superficie. C.N.R., Centro di Studio per la Geologia dell'Italia Centrale – Istituto di Geologia e Paleontologia, Università degli Studi "La Sapienza", Roma.
- American Geological Institute (2005) *Glossary of Geology*. Eds. Neuendorf K.K.E., Mehl J.P. Jr., Jackson J.A. Fifth Edition, 779 p.
- Ashby T. (1935) *The Aqueducts of Ancient Rome*. Oxford, 342 p.
- Baldi P., Decandia F.A., Lazzarotto A., Calamai A. (1974) Studio geologico del substrato della copertura vulcanica nella zona dei laghi di Bolsena, Vico e Bracciano. *Mem. Soc. Geol. It.*, 13, 575 – 606.
- Barazzuoli P., Migliorini J., Capacci F. (2020) Water resources and main groundwater bodies in the Province of Siena in the framework of the land management plan. IAH – Flowpath 2019. *Acque Sotterranee - Italia Journal of Groundwater*. AS 32-433, 51 – 61.
- Boccaletti M., Decandia F.A., Gasperi G., Gelmini R., Lazzarotto



- A., Zanzucchi G. (1987) Carta strutturale dell'Appennino Settentrionale. Pubbl. 429, Note illustrative. CNR Progetto Finalizzato Geodinamica, Tipografia Senese.
- Boni C., Bono P., Capelli G. (1986) Schema idrogeologico dell'Italia centrale. Mem. Soc. Geol. It., 35, 991 – 1012.
  - Bono P., Capelli G., Cattena C. (1989) Caratteristiche idrogeologiche del bacino del Fiume Mignone. In: Angeletti C. e Ascari G., Esperienze di analisi e gestione dei bacini imbriferi. "Valutazione dello stato dell'ambiente nel bacino del Fiume Mignone", 79 – 111, con Carta Idrogeologica del bacino del Fiume Mignone. Amministrazione Provinciale di Roma – Università degli Studi Sapienza, Roma.
  - Brunet C., Monié P., Jolivet L. (1997) Geodynamic evolution of the Alpine Corsica based on  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  data (abstract). Terra Nova EUG, 9, 93.
  - Brunori E. (1990) L'acquedotto di Traiano. In: Caere e il suo territorio da Agylla a Centumcellae. A cura di A. Maffei e F. Nastasi, Libreria dello Stato – Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 215 – 219.
  - Camponeschi B., Nolasco F. (1978) Le risorse naturali della regione Lazio. Monti della Tolfa e Monti Ceriti. Regione Lazio, 3, 175 p.
  - Capelli G., Mastroiillo L., Mazza R., Petitta M., Baldoni F., Banzato F., Cascone D., Di Salvo C., La Vigna F., Taviani S., Teoli P. (2012a) Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio. S.E.L.C.A.
  - Capelli G., Mastroiillo L., Mazza R., Petitta M. (2012b) Carta delle Unità Idrogeologiche della Regione Lazio (scala 1: 250.000). S.E.L.C.A.
  - Cas R.A.F., Wright J.V. (1987) The evolution of igneous rocks. Chapman e Hall, London, 528 p.
  - Celico P. (1988) - Prosperezioni idrogeologiche. Vol. II. Liguori Editore, Napoli.
  - Chiocchini U., Potetti M. (1998) Caratteri sedimentologici e stratigrafici delle Calcareniti di Tarquinia (Provincia di Viterbo). Boll. Serv. Geol. d'It., CXVII, 33 – 52.
  - Cifarelli F. M., Marcelli M. a cura di (2022) Aqua Traiana. Le indagini fra Vicarello e Trevignano Romano. Gangemi Editore, 256 p.
  - Civita M. (2005) Idrogeologia applicata e ambientale. Casa Editrice Ambrosiana, 794 p.
  - Civitelli G., Corda L. (1993) The Allochthonous Succession. Sabatini Volcanic Complex. Edited by M. Di Filippo. Quaderni de La Ricerca Scientifica, 114, Progetto Finalizzato Geodinamica - Monografie Finali, Vol. 11, 19 – 28.
  - Consiglio Nazionale delle Ricerche (1987) Progetto Finalizzato Geodinamica. Neotectonic Map of Italy. Vol. 4 Quaderni della Ricerca Scientifica. L.A.C., Firenze.
  - Cortéz Pérez J., de Sanjosé Blasco J.J., Atkinson D.J., del Rio Pérez L.M. (2018) Assessment of the Structural Integrity of the Roman Bridge of Alcantara (Spain) using the TLS and GPR. Remote Sensing, 10, 387; doi: 103390/rs 10030387.
  - D'Ascenzo A. (2015) Il termalismo e l'approvvigionamento idrico come chiave di lettura dello sviluppo urbano e territoriale di Civitavecchia. Geostorie. Bollettino e Notiziario del Centro Italiano per gli Studi Storico-Geografici. Anno XXIII – n. 1-2, 7-67.
  - D'Ascenzo A. (2020) Civitavecchia e le sue acque. Terme, acquedotti e fontane nella cartografia e nella letteratura. Prospettive Editrice, 218 p.
  - De Rita D., Bertagnini A., Carboni M.G., Ciccacci S., Di Filippo M., Faccenna C., Fredi P., Funicelli R., Sciacca P., Vannucci N., Zarlenga F. (1994) Geological-petrographical evolution of the Ceriti Mountains area (Latium, Central Italy). Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 49, 291 – 322.
  - De Rita D., Bertagnini A., Faccenna C., Landi P., Rosa C., Zarlenga F., Di Filippo M., Carboni M.G. (1997) Evoluzione geopetrografica-strutturale dell'area tolfaiana. Boll. Soc. Geol. It., 116, 143 – 175.
  - Devoto G., Lombardi G. (1977) Le formazioni sedimentarie ed eruttive del settore Tolfaiano-Cerite (Lazio nord-occidentale). Quad. Acc. Naz. Lincei, 227 (2), 1-35.
  - Di Giulio D. (2014) Le cisterne romane del Ce. Si. Va.: testimonianza maestosa dell'acquedotto di Traiano. In: Aquarum calentium voces. Bollettino della Società Storica civitavecchiese, XVIII, 75-84.
  - Fazzini P., Gelmini R., Mantovani P., Pellegrini M. (1972) Geologia dei Monti della Tolfa (Lazio Settentrionale; provincia di Viterbo e Roma). Mem. Soc. Geol. It., 11 (1), 65 – 144.
  - Ferrari L., Conticelli S., Burlamacchi L., Manetti P. (1996) Volcanological evolution of the Monte Amiata, southern Tuscany: new geological and petrochemical data. Acta Vulcanologica, 8, 41 – 56.
  - Ferrini V., Lombardi G., Morbidelli L., Negretti G.C. (1970) Studio geopetrografico del complesso vulcanico tolfaiano-cerite (Lazio). VI. Le manifestazioni ipoabissali. Ist. Petr. Università di Roma.
  - Frangipani A. (1761) Istoria dell'antichissima città di Civitavecchia. Pagliarini, Roma.
  - Gamurrini G.E., Cozza A., Pasqui A., Mengarelli R. (1972) Formae Italiae - Serie II, Documenti, Vol. 1. Carta archeologica d'Italia (1881-1891). Materiali per l'Etruria e la Sabina, 115. Unione Accademica Nazionale – Istituto di Topografia Antica dell'Università di Roma. Leo Olski Editore. Firenze MCMLXXII.
  - Gençer U., Turan H. (2017) The masonry techniques of a historical bridge in Hypokremos (İçmeler). DOI: 10.4305/METUJFA.2017.1.6, 187 – 207.
  - Geological Society of America (1991) The Rock-Color Chart.
  - Ghilardi M., Desruelles S (2009) Geoarchaeology: where human, earth sciences meet with technology. SAPIENS, 2/2, Special Issue, 1 – 9.
  - Gilbert AS (Ed.) (2017) Encyclopedia of Geoarchaeology. Springer, 1046 p.
  - ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico Nazionale (2009) Carta Geologica d'Italia – 1: 50.000. Progetto CARG: Modifiche e Integrazioni al Quaderno N. 1/1992. Quaderni Serie III, 12, 3, 54 p.
  - ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia (2016) Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000. Foglio 355 Ronciglione. D.R.E. Am Italia.
  - ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia. Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000. Foglio 344 Toscana, Foglio 345 Viterbo, Foglio 353 Montalto di Castro, Foglio 354 Tarquinia. In attesa di stampa.
  - Kligfield R., Hunziker J., Dallmeyer R.D., Schamel S. (1986) Dating of deformation phases using  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  techniques: results from the Northern Apennines. Journ. Struct. Geol., 8, 781 – 798.
  - Lauro C., Negretti G.C., Morbidelli L., Lombardi G. (1965) I. Studio geopetrografico del complesso vulcanico tolfaiano-cerite. Lineamenti geostutturali della Tuscia Romana centro-occidentale, con particolare riguardo alle regioni tolfaiana, cerite e manziate, e notizie bibliografiche. Istituto di Petrografia Università di Roma, 53 p.
  - Lauro C., Negretti G.C. (1969) Il vulcanismo della tuscia romana: le manifestazioni vulcaniche acide del settore centro-occidentale. Istituto di Petrografia Università di Roma.
  - Le Bas M.I., Le Maitre R.W., Woolley A.R. (1992) The construction of the total alkali-silica chemical classification of volcanic rocks. Mineral. Petr., 46, 1-22.
  - Lombardi G., Morbidelli L., Negretti G.C. (1965 a) Lineamenti geopetrografici e strutturali degli affioramenti vulcanici del settore tolfaiano (Lazio). Rend. Soc. Min. Ital., 21, 151-156.
  - Lombardi G., Morbidelli L., Negretti G.C. (1965 b) Gli affioramenti eruttivi della Tolfaia (Monti della Tolfa). Rend. Soc. Min. It., 21, 157-164.
  - Lombardi G., Morbidelli L., Negretti G.C. (1974) Età delle vulcaniti acide dei complessi Tolfaiano, Cerite e Manziate (Lazio Nord-occidentale). Per. di Min., 43, 181 – 204.
  - Lulier C.N. (1887) Acquedotto Traiano. Disegni relativi alle prese

- d'acqua e conduttura dell'anno 1730. Città di Civitavecchia.
- Luterbacher J. et al. (2016) European summer temperatures since Roman times. *Environ. Res. Letters*, 11 (2016) 024001. doi: 10.1088/1748-9326/11/2/024001.
  - Marinelli G., Barberi F., Cioni (1993) Sollevamenti neogenici e intrusioni acide della Toscana e del Lazio settentrionale. *Mem. Soc. Geol. It.*, 49, 279 – 288.
  - Mazzuoli R., Pratesi M. (1963) Rilevamento e studio chimico-petrografico delle rocce vulcaniche del Monte Amiata. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. Mem.*, 70, 355 – 429.
  - Negretti G.C., Lombardi G., Morbidelli L. (1966) Studio geopetrografico del complesso Tolfetano-Cerite. IV. Le manifestazioni vulcaniche acide del settore Cerite. Istituto di Petrografia Università di Roma.
  - Negretti G.C., Morbidelli L. (1963) Studio geopetrografico del complesso Tolfetano-Cerite. III. Le manifestazioni vulcaniche acide del settore civitavecchiese-tolfetano. Istituto di Petrografia Università di Roma.
  - Ortolani F., Pagliuca S. (2007) Evidenze geologiche di variazioni climatico-ambientali storiche nell'area mediterranea. *Quaderni della Società Geologica Italiana*, 1, 13 - 17.
  - Pace P. (2010) Acquedotti di Roma e il De aquaeductu di Frontino. Consiglio Nazionale delle Ricerche. Edizioni Betmultimedia, terza edizione, 326 p.
  - Palozza F. (2019) Studio mineralogico/petrografico di due campioni di lava dell'apparato tolfetano. Tesi di Laurea. Corso di Laurea Triennale in Scienze Geologiche. Università degli Studi Roma Tre, 42 p.
  - Peccerillo A., Donati C. (2003) The Tuscan Magmatic Province. *Per. Mineral.* 72, Special Issue, 27 – 39.
  - Peccerillo A. (2005) Plio-Quaternary volcanism in Italy. *Petrology, Geochemistry, Geodynamics* (Vol. 365). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
  - Pinarelli L. (1991) Geochemical and isotopic (Sr, Pb) evidence of crust-mantle interaction in acid melts – Tolfa-Cerveteri-Manziana volcanic complex (central Italy): a case story. *Chemical Geology*, 92, 177 – 195.
  - Piscopo V., Barbieri M., Monetti V., Pagano G., Pistoni S., Ruggi E., Stanzione D. (2006) Hydrogeology of thermal waters in Viterbo area, central Italy. *Hydrogeology Journal*, 14, 1508 – 1521.
  - Poli G., Frey F.A., Ferrara G. (1984) Geochemical characteristics of the south Tuscany (Italy) Volcanic Province: constraints on lava petrogenesis. *Chem. Geol.*, 43, 203 – 221.
  - Pollard A.M. (1999) Geoarchaeology: an introduction. In: A.M. Pollard (Ed.). *Geoarchaeology: exploration, environments, resources*. Geological Society London, 165, 7 – 14.
  - Rapp Jr G.R., Hill C.L. (1998) *Geoarchaeology: The Earth-Science approach to archaeological interpretation*. Yale University Press, New Haven.
  - Rossetti F., Faccenna C., Jolivet L., Funicello R., Tecce F., Brunet C. (1999) Syn- versus post-orogenic extension: the case study of Giglio Island (Northern Tyrrhenian Sea, Italy). *Tectonophysics*, 304, 71 – 93.
  - Senarum Universitatis (2008) *Studio geostrutturale, idrogeologico, e geochimico della regione amiatina*, 367 p.
  - Serri G., Innocenzi F., Manetti P., Tonarini S., Ferrara G. (1992) Il magmatismo neogenico-quadernario dell'area tosco-laziale-umbra: implicazioni sui modelli di evoluzione geodinamica dell'Appennino settentrionale. *Studi Geologici Camerti, volume speciale*, 1991/1, 429-463.
  - Servizio Geologico Nazionale (1992) *Carta Geologica d'Italia – 1: 50.000. Guida al Rilevamento. Quaderni Serie III*, 1, 203 p.
  - Servizio Geologico Nazionale (1994) *Carta Geomorfologica d'Italia – 1: 50.000. Guida al Rilevamento. Quaderni Serie III*, 4, 42 p.
  - Servizio Geologico Nazionale (1995) *Carta Idrogeologica d'Italia – 1: 50.000. Guida al Rilevamento e alla Rappresentazione. Quaderni Serie III*, 5, 33 p. con Tabelle.
  - Sgriscia D., Sereni U. (1989) La Fontana di Piazza Vecchia. Il primo acquedotto di Tolfa, 30 p., EL. Graf., Grafica Aldo Presta.
  - Shahack-Gross R. (2017) Archaeological formation theory and geoarchaeology: State-of-the-art in 2016. *Journal of Archaeological Science*, 79, 36-43.
  - Shillito L.M., Blong J., Sawyer A., Mackay H. (2019) Introduction. *Geoarchaeology from landscapes to material culture: Papers from the 7<sup>th</sup> Developing International Geoarchaeology Conference*. *Geoarchaeology*, 34, 377-379.
  - Taylor H.P., Turi B. (1976) High <sup>18</sup>O igneous rocks from the Tuscan magmatic province, Italy. *Contr. Miner. Petr.*, 55, 33-54.
  - Turc L. (1954) Le bilan d'eau de sols: relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. *La Houille blanche, 3 journées de l'hydraulique de la Société Hydrotechnique de France*, Paris, 36-44.
  - United States Department of Agriculture (Usda) (1975 – 1999) *Soil Taxonomy System of Soil Classification and for Making and Interpreting Soil Surveys*. National Resources Conservation Service (NRCS).
  - Van Bergen M.J. (1984) Magmas and inclusions of Monte Amiata, Tuscany, Italy. *Geologica Ultraiectina*, 37, 175 p.
  - Ventriglia U. (1988) *Idrogeologia della provincia di Roma. Volume I Regione Tolfetana. Provincia di Roma*.
  - Villa L.M., Giuliani O., De Grandis G., Cioni R. (1989) *Datazioni K-Ar dei vulcani di Tolfa e Manziana. Boll. GNV*, 1989/2, 1025 - 1026.
  - Vollmer R. (1977) Isotopic evidence for genetic relations between acid and alkaline rocks in Italy. *Geoch. Cosm. Acta*, 40, 283-295



## Il partner definitivo per geingegneri e geoscientiati

Risolvi problemi complessi, gestisci il rischio e prendi decisioni migliori durante il ciclo di vita dei progetti.



Seequent è leader nel supporto all'elaborazione di modelli in campo geologico, geoambientale e scienze della terra e offre strumenti innovativi e integrati per la collaborazione in team e lo sviluppo di progetti ingegneristici.

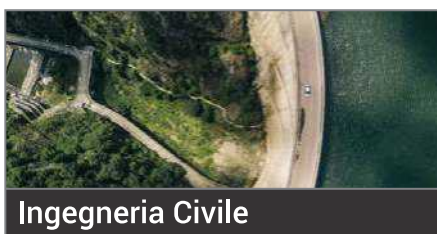
In più di 100 nazioni, professionisti nell'Industria, negli Istituti di ricerca e nelle Università, utilizzano le tecnologie Seequent per affrontare le attuali sfide nelle geoscienze e raggiungere ottimi risultati.

### Le Soluzioni Seequent

I software Seequent combinano l'analisi, la visualizzazione 2D e 3D e la gestione dei dati in progetti ad ampia scala: costruzione di tunnel stradali e ferroviari, rilevamento e gestione delle acque sotterranee, esplorazione geotermica, mappatura di infrastrutture subacquee, valutazione delle risorse e dello stoccaggio sotterraneo di combustibile nucleare esaurito, e molto altro...



Industria Mineraria



Ingegneria Civile



Ambiente



Energia



Idrocarburi



Ordigni inesplosi

### Software e tecnologie collaborative

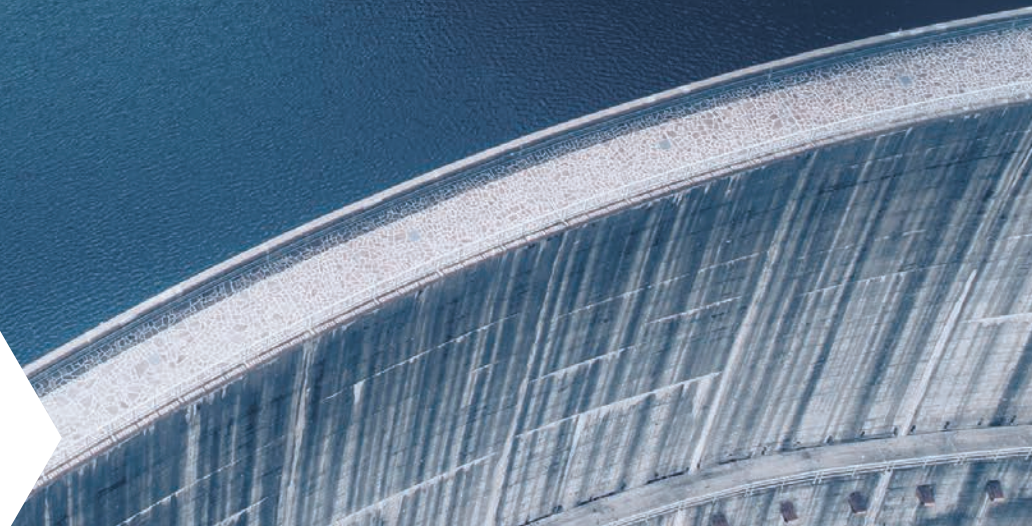
<b>GeoStudio</b>	Modellazione della stabilità dei pendii, della deformazione del terreno e del trasferimento di calore e di massa nel suolo e nella roccia.
<b>Leapfrog</b>	Modellazione 3D di dati geologici del sottosuolo, stima delle risorse, verifica e tracciabilità del modello.
<b>Oasis montaj</b>	Modellazione 3D del sottosuolo terrestre e degli ambienti sottomarini, integrata mappatura GIS e gestione dei dati di geoscienze.
<b>Seequent Central</b>	Visualizzazione, modifica e gestione dei dati e della cronologia del progetto 3D all'interno di un ambiente Cloud. Condivisione via Web con i colleghi o con le parti interessate.



 KELLER

# HYDROSTATIC PRESSURE MEASUREMENTS

WATER & FUELS



## KELLER SERIES 26X

- For liquid level and fill level measurements
- Highly accurate measured values
- Excellent long-term stability
- Extended lightning protection available
- Analogue & digital interfaces can be combined
- Scalable analogue output (turn-down)
- Many years of maintenance-free operation

[keller-pressure.com](http://keller-pressure.com)