

GEOLOGIA

TECNICA & AMBIENTALE



CONSIGLIO NAZIONALE
DEI GEOLOGI

**Estratto
dell'articolo**

**LA RICERCA GEO-
ARCHEOLOGICA
DELLA TOMBA DI
ALARICO.**

*di Amerigo
Giuseppe Rota*

Marine Hazard

Un osservatorio scientifico a 3.500 metri di profondità.

Photo: Jeremy Bishop-Unsplash



Sui fondali del Mar Ionio, un team di ricercatori di INGV e INFN, ha realizzato e posizionato una stazione sismo-acustica ad alta sensibilità per acquisire suoni e vibrazioni provenienti dagli abissi del mare.

Codevintec ha fornito la sonda multi-parametrica RBR Concerto³ CTD e il sistema sismico Nanometrics OBS Ocean Bottom Seismometer.

Come è fatto
questo
osservatorio?

Seleziona
il link!

Codevintec rappresenta anche:

RBR

 nanometrics



CODEVINTEC

Tecnologie per le Scienze della Terra e del Mare

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

SCEGLI IL PARTNER GIUSTO PER LA TUA PROFESSIONE



Sviluppiamo software di successo a livello mondiale.



BIM
Geodropbox

GM3D

Static
Probing

GEOSTRU TI OFFRE I SOFTWARE PIÙ POTENTI ED AFFIDABILI.

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 48.000 installazioni in più di 145 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 AGS. Tutti i prodotti sono pienamente compatibili con Normativa Italiana (NTC) e gli Eurocodici.

Guadagna con Geostru, ora puoi avere dei crediti nel tuo account che ti consentono di risparmiare sui tuoi prossimi acquisti.

Valla pagina delle
promozioni
esclusive GeoStru.



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

Corsi certificati in collaborazione con GoMeeting.
Visita il sito www.gomeeting.eu

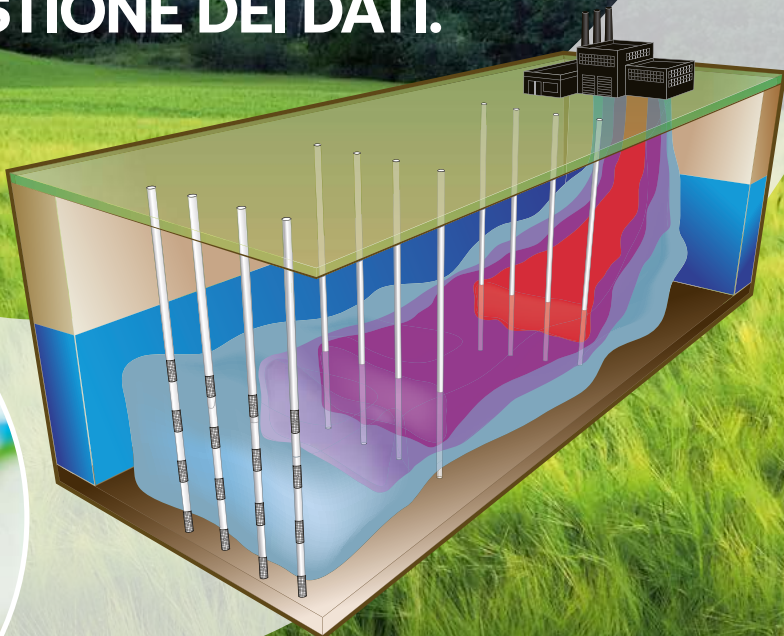
NUOVI SOFTWARE E SERVIZI

- Nuove versioni Geostru 2025
- Risposta sismica locale 1D, 2D
- GFAS (Geotechnical and F.E.M. Analysis System)
- GeoDropbox 2025, integrato con visualizzatore di modelli BIM di estensione IFC, file DXF e interpretazione prove in situ e di laboratorio (geodropbox.com)
- GeoApp 2025 - Oltre 10 applicazioni aggiunte di recente (<https://geoapp.geostru.eu>)
- GeoStru 365
- Geostru Artificial Intelligence - GILA
- Soil Nailing Analysis - SNL
- Prove penetrometriche dinamiche - DYNAMIC PROBING 2025 integrato con Intelligenza Artificiale
- Invarianza Idraulica

Software, risorse, info, servizi e offerte sul nostro sito:
www.geostru.eu/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.

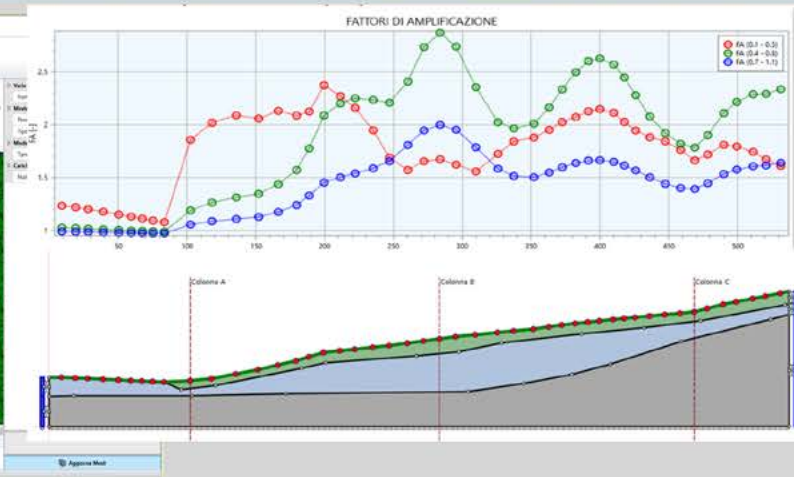
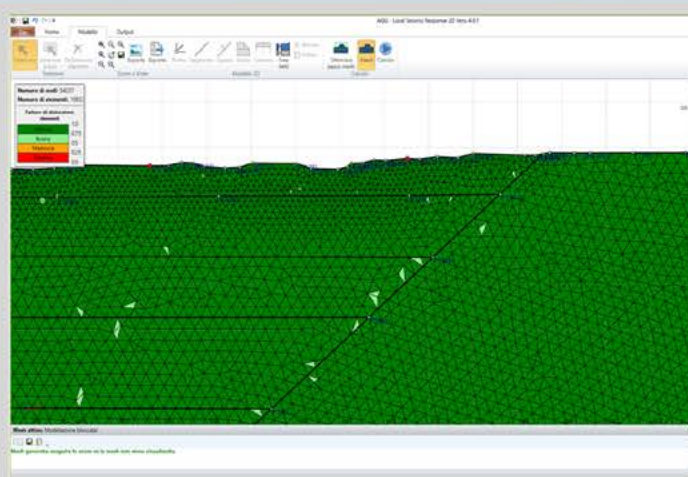
EGEO +lab

WWW.EGEO.LAB.IT

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

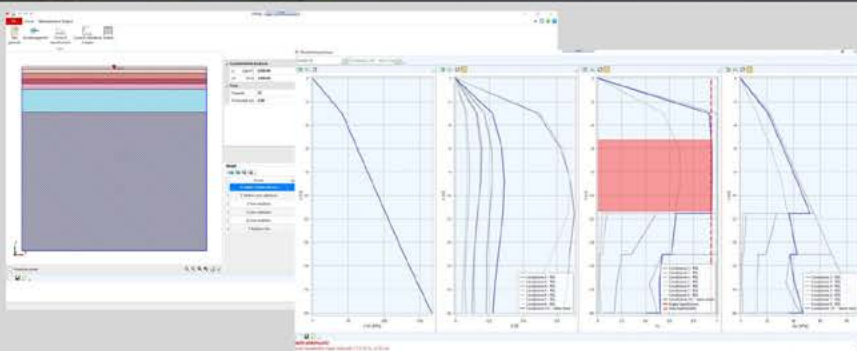
LSR_{2D}

SOFTWARE PER L'ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE 2D

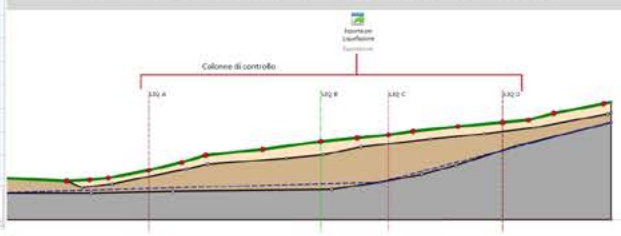


LIQUEFAZIONE[®]

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



INTEROPERABILITÀ CON LSR



comacchio.com



LA SICUREZZA DI GRANDI PERFORMANCE SU OGNI TERRENO.

GEO^{ENI}



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.



LEARN MORE



COMACCHIO

DEEP INNOVATORS

Quadrimestrale dell'Ordine Nazionale dei Geologi
N. 3/2024 | 1/2025

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 Emani, 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 Casagli, Rinaldo Genevois, Gilberto Panebianchi, Silvia Castellaro, Floriana Pergalani, Vincenzo Morra, Silvia Fabbrocino, Gabriele Scarascia Mugnozza, Massimiliano Imperato, Vincenzo Tripodi

SEGRETERIA DI REDAZIONE

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

UFFICIO STAMPA

addettostampa@cngeologi.it

PUBBLICITÀ

Agicom srl

Viale Caduti in Guerra, 28 - 00060 Castelnuovo di Porto (Roma)

Tel 06.9078285 Fax 06.9079256

agicom@agicom.it

www.agicom.it

GRAFICA E IMPAGINAZIONE

Agicom srl

Immagini: ©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**

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**, nell'area Rivista.



IN COPERTINA: foto del fiume Busento

7

l'editoriale

A. Reina

9

il punto del presidente

A.F. Violo

14

Focus

V. Casolini

Atti del Congresso
Speciale 2024

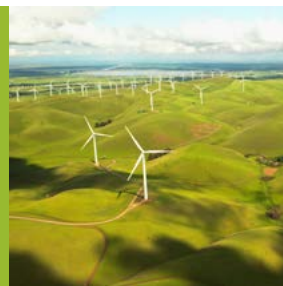


20

Focus

L. Benedetto

Il Futuro della Geologia
in Italia: Considerazioni
sul rapporto CRESME
2024



27

Lo stato dell'arte della risorsa
geotermica nelle zone di
Civitavecchia e Tolfa, Lazio
nord-occidentale, Italia
centrale. 2. Idrogeologia e
Conclusioni

U. Chiocchini

45

La ricerca geo-archeologica
della tomba di Alarico

A. G. Rota

55

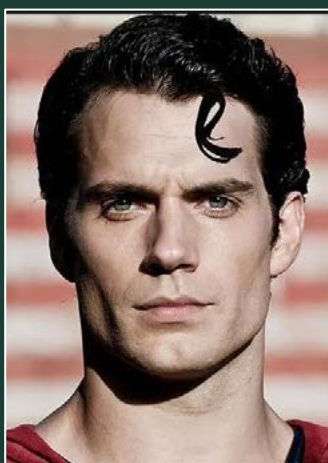
La prova DCPT (Dynamic
Cone Penetration Test, o DP,
Dynamic Probing) secondo
un'interpretazione razionale

P. Foldi



PRATI ARMATI®: la cura per la pelle del pianeta

Dermatologia geotecnica





Alessandro Reina

Direttore Responsabile

MALEDETTE ELEZIONI. Quest'anno i geologi iscritti saranno coinvolti in tre competizioni elettorali di categoria: rinnovo dei rappresentanti dell'E-PAP, rinnovo dei componenti di alcuni Ordini Regionali e poi del Consiglio Nazionale.

Certamente un fermento che si distribuisce in un tutta la nazione. Le etichetto come maledette perché il fermento si percepisce associato a vari stati d'animo, spesso contrastanti: ispirazione, determinazione, volontà, proposizione, strategia, apparire, arrivismo e ...mi fermo qui.

La categoria dei geologi iscritti quando viene chiamata a queste consultazioni generalmente è come se si destasse da un torpore che poi ritorna a proporsi al termine degli esiti delle stesse elezioni. Alcuni non sanno che ci saranno questi eventi sino a quando qualcuno interessato non li avvisa. Altri non conoscono nemmeno i colleghi che compongono i loro ordini regionali. Questa mancanza, le cui responsabilità sono distribuite equamente tra tutti gli attori della vita ordinistica (rappresentanti e rappresentati), deve assolutamente ridursi, possibilmente sino a sparire, proprio nell'interesse di tutti. L'attività lavorativa è sempre la massima occupazione dei colleghi geologi. Quando ci si accorge durante questa attività che qualcosa ostacola o determina un rallentamento o la negazione del lavoro stesso...allora si pensa all'esistenza efficace o non efficace degli organi istituzionali.

Bene! È il momento di dedicarsi responsabilmente a questi appuntamenti e verificare quali sono i programmi e colleghi che meritano la nostra considerazione e attenzione, fiducia e stima. Certo sarebbe anche opportuno che i colleghi prima di candidarsi si potessero mettere una mano sulla propria

coscienza e capire se sono veramente motivati a contribuire al bene della categoria! Ovviamente lo scrivo solo per semplificare la scelta degli iscritti.

Maledette o benedette, come sempre, queste elezioni potranno essere una conferma o una svolta per alcune o nessuna delle composizioni ordinistiche.

Una cosa è certa non facciamoci avvolgere e riavvolgere dal torpore, partecipiamo e valutiamo bene il nostro voto, perché potente e determinante.

Due interessanti Focus sono presenti in questo numero: il Congresso dei Geologi Italiani tenutosi a Genova il 13 e il 14 novembre 2024 a cura del Consigliere Valentina Casolini, dove si sono discussi i temi principali del lavoro per la geologia professionale; il Rapporto Cresme sul futuro della Geologia in Italia a cura del Presidente della Fondazione Lorenzo Benedetto, nel quale viene evidenziata l'evoluzione del mercato della geologia che ha registrato significativi cambiamenti, riflettendo una combinazione di tendenze economiche, tecnologiche e ambientali.

Seguono articoli molto significativi e pieni di punti di discussione che aprono nuovi scenari di ricerca.

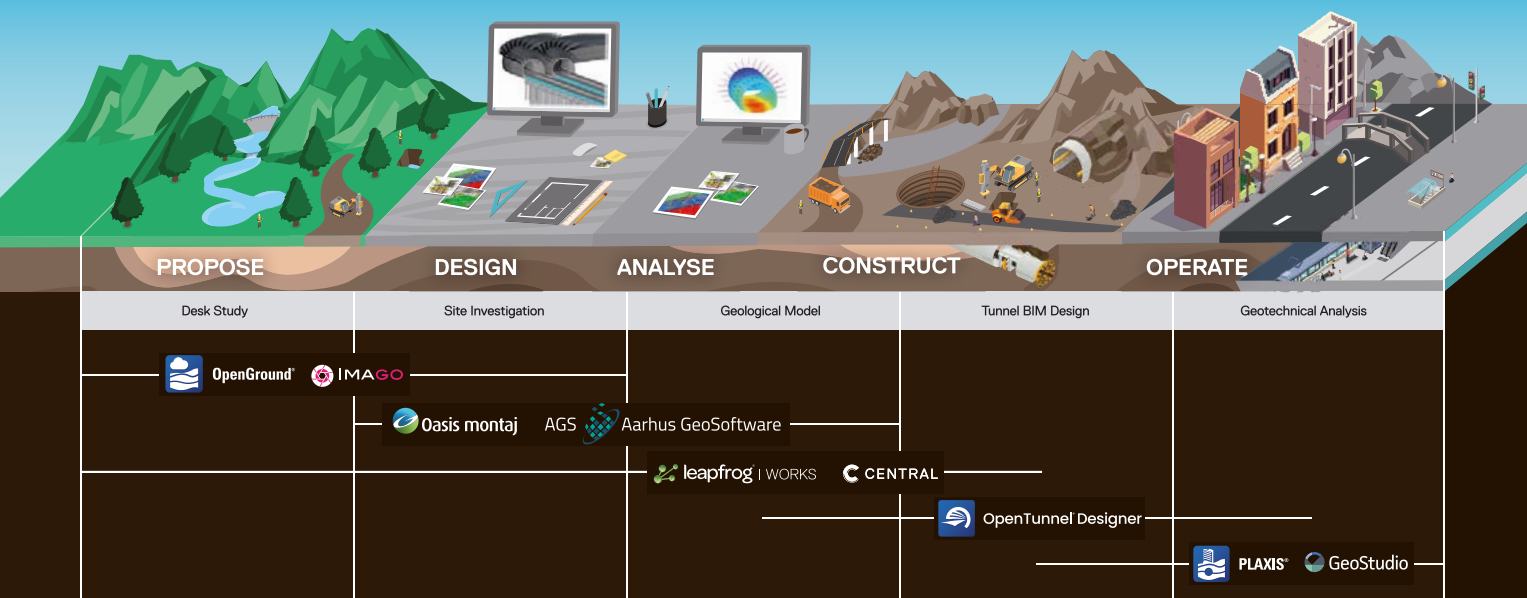
La condizione geotermica di bassa entalpia di Monti della Tolfa del Prof. Chiocchini, che indica la strada per possibili nuovi usi della risorsa.

I nuovi ed entusiasmanti risultati geoarcheologici sulla possibile individuazione dell'ubicazione della Tomba di Alarico. L'approfondimento su una tecnica di indagine geognostica molto usata dai professionisti geologi: la prova DCPT (Dynamic Cone Penetration Test).

Buona lettura



Affronta i progetti geotecnici con competenza utilizzando le soluzioni software Bentley|Seequent



Quando collabori per una comprensione condivisa delle condizioni del terreno, puoi consegnare progetti più precisi e più velocemente e puoi ottenere così risultati migliori.

Ingegneri, Geotecnici, Geologi e Geofisici utilizzano i software Bentley e Seequent nei progetti di infrastrutture per pianificare, creare e costruire strade, ferrovie, ponti, tunnel, edifici, dighe e argini.



OpenGround®

Piattaforma software cloud base che offre una gestione e una reportistica sicura e affidabile dei dati geotecnici.



leapfrog®

Esplora le condizioni del sottosuolo con la modellazione geologica dinamica 3D.



GeoStudio

Riduci i rischi e sviluppa sofisticate analisi di stabilità all'equilibrio limite 2D e 3D di terreni e pendii rocciosi.



Oasis montaj

Potente suite software per la modellazione e l'analisi dati che permette una comprensione avanzata della superficie sotterranea della terra e dell'ambiente marino.



OpenTunnel Designer

Potente software per la progettazione di tunnel. È l'unico tool con queste funzionalità specifiche di analisi che lavora all'interno di un ambiente di lavoro condiviso.



PLAXIS®

Potente software ad elementi finiti che sviluppa analisi 2D o 3D di deformazione e di stabilità nell'ingegneria geotecnica e nella meccanica delle rocce.

► www.adalta.it/adalta-soluzioni-problemi-geotecnici

ADALTA
SOFTWARE PER L'INNOVAZIONE

Bentley Systems e Seequent
Channel Partner autorizzato per l'Italia

Bentley®
SEEQUENT

Per saperne di più





Arcangelo Francesco Violo

Presidente Consiglio Nazionale dei Geologi

Il mandato del Consiglio Nazionale dei Geologi (“CNG”) 2020-2025 ha rappresentato un periodo di notevole evoluzione per la professione del geologo. L'emergere di sfide globali legate ai cambiamenti climatici e ad un quadro geopolitico internazionale in evoluzione, con una serie di condizioni congiunturali di natura economico-sociale, hanno incrementato la domanda di competenze tecniche altamente specializzate.

In questo contesto, interventi mirati e qualificati hanno permesso al CNG di affermarsi come interlocutore del Legislatore e del Governo, ottenendo visibilità ed autorevolezza, anche nel panorama pubblico e mediatico nazionale.

L'evoluzione della figura professionale del geologo, sebbene graduale nel tempo, è stata sostanziale, oltre che sul versante istituzionale, anche in quello tecnico-scientifico. Una tendenza incontrovertibile che è destinata ad incrementarsi negli anni che seguiranno, anche sotto il profilo della crescita professionale della categoria.

Sul piano accademico, nel corso di questo mandato, la formazione dei geologi professionisti è stata un elemento su cui si è lavorato con grande dedizione. Sintomo di una maggiore attenzione, da parte del CNG, con gli Ordini Regionali, ad un percorso mirante alla crescita e allo sviluppo di nuove competenze per i geologi professionisti, in virtù della necessità di garantire, soprattutto ai nuovi iscritti, un ventaglio di conoscenze aggiornate, in linea con le innovazioni in atto.

La concentrazione di tutte le attività messe in campo e promosse dal CNG, anche in coordinamento con gli Ordini Regionali, nel corso di questa consiliatura ha permesso, quindi, di affrontare molteplici temi di interesse per la categoria, sul piano normativo-istituzionale come sul piano più tecnico-operativo, favorendo la convergenza di sinergiche relazioni con importanti interlocutori per rafforzare rapporti di networking, utili al raggiungimento di obiettivi comuni per la categoria e non solo.

L'evoluzione tecnica e normativa richiede una rinnovata visione delle competenze professionali regolamentate dal D.P.R. 328/2001.

Ciò risulta ancora più necessario ove si consideri che alle nuove professioni regolamentate vanno ad affiancarsi anche figure professionali non regolamentate, che hanno, in alcuni casi, lo stesso mercato di riferimento del geologo.

È opportuno, quindi, garantire la massima collaborazione nei contesti che richiedono contributi multidisciplinari, nonché adeguarsi alla domanda del citato mercato.

Tale adeguamento deve avvenire mediante due strumenti:

- uno propedeutico, cioè l'attuazione delle disposizioni in materia di titoli universitari abilitanti (cd. “lauree abilitanti”), per la quale il CNG ha lavorato, in sinergia con gli Ordini Regionali e con i rappresentanti del mondo accademico, mediante la stesura di regolamenti attuativi volti a facilitare l'accesso dei giovani laureati alla professione regolamentata, dando anche un taglio pratico ai percorsi accademici, che garantisca agli studenti uno sviluppo reale in termini di competenze qualificate, necessarie all'esercizio della professione, riducendo il gap burocratico e temporale, precedentemente esistente, tra la conclusione del percorso di studi e il procedimento per l'ottenimento dell'abilitazione;

La prossima positiva conclusione di tale percorso relativo alle lauree abilitanti ci è stato confermato dai dirigenti del Mur e dalla Ministra Bernini, in un recente incontro istituzionale.

- l'altro conseguente, cioè la revisione delle norme tecniche, come ad esempio in tema ambientale e/o di risorse idriche ed in particolare di quelle per le costruzioni, in modo che, in tutte le attività di progettazione, assuma un ruolo sempre più centrale la valutazione degli aspetti geologici, geotecnici, idraulici, sismici, idrogeologici ed ambientali, mediante gli elaborati specialistici ad essi attinenti, riconoscendo, in maniera chiara, il ruolo di “progettista specialista” al geologo.

Negli ultimi mesi si è riaperto il dibattito, con iniziative politiche e ministeriali, sulla riforma del DPR n. 380 del 6 giugno 2001, che riunisce in un Testo Unico la maggior parte delle disposizioni legislative e regolamentari in materia di edilizia. È del tutto evidente che per l'evoluzione intervenuta nel settore delle costruzioni negli ultimi 50 anni, nonché per le numerose e disorganiche modifiche apportate alla disciplina edilizia, tale norma non appare più in grado di fornire adeguate risposte alle tante criticità che si presentano nella pratica applicativa. Risulta quindi sempre più urgente una legge organica aderente al mutato contesto socio economico, territoriale e tecnologico. La nuova disciplina delle costruzioni dovrà interessare l'intero settore delle costruzioni e delle infrastrutture e non solo quello dell'edilizia. Le nuove regole dovranno comprendere anche le opere geotecniche, idrauliche e di protezione ambientale. Occorre quindi una riformulazione della disciplina che la renda semplice e chiara, con eliminazione delle incongruenze e contraddizioni; un provvedimento complessivo, una legge organica e completa, che incentivi gli interventi legati alla rigenerazione

urbana con l'attivazione di processi finalizzati alla riduzione della vulnerabilità sismica del patrimonio esistente sviluppando un quadro di maggiori conoscenze anche attraverso l'adozione del fascicolo digitale della costruzione. È necessario inoltre favorire la sostenibilità (ad es. attraverso il rispetto dell'invarianza idraulica e la valutazione dell'"impronta" idrica della costruzione), l'efficientamento energetico, attraverso l'impiego di fonti rinnovabili (ad esempio l'energia geotermica), la mitigazione dei rischi ambientali, mediante misure di mappatura, mitigazione e bonifica (ad esempio radon).

La sicurezza, la sostenibilità e compatibilità ambientale delle costruzioni deve rapportarsi sempre all'ambito territoriale significativo e quindi non solo agli aspetti strutturali, tenendo conto delle pericolosità e dei rischi derivanti dalle componenti geologiche.

Va sempre più promosso, nella nuova normativa tecnica, lo sviluppo di una cultura di prevenzione, riducendo per quanto possibile i vincoli burocratici.

È ormai ampiamente riconosciuto che la progettazione è una attività necessariamente multidisciplinare dove il ruolo del geologo è importante ed imprescindibile. Il modello geologico di riferimento costituisce l'"ossatura" fondamentale per una progettazione di qualità.

Un ulteriore obiettivo della Disciplina delle Costruzioni dovrà essere quello di definire i criteri per l'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni e, a tal proposito, il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha recentemente istituito una Commissione per la redazione dei documenti relativi alla revisione, con modifica e aggiornamento, delle NTC 2018 e della

relativa Circolare 21/01/2019, n.7 C.S.LL.PP.

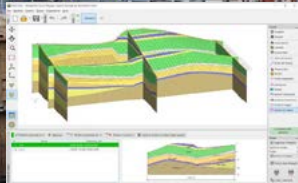
Tale revisione dovrà consentire una maggiore organicità dei contenuti relativi agli aspetti geologici, con percorsi definiti in maniera dettagliata, che contenga tutti i riferimenti relativi ai vari capitoli con i quali la geologia interagisce in analogia con gli Eurocodici EC7 e EC8, trovando il giusto equilibrio tra la modellazione geologica, quella sismica e quella geotecnica, nonché coerenza reciproca con il progetto strutturale.

Una tematica importante che va affrontata in maniera specifica è quella relativa alle opere di difesa dai dissesti idrogeologici, ed in particolare riguardo la valutazione del rischio residuo e la soglia del rischio accettabile, escludendo consapevolmente la possibilità di un cosiddetto rischio "zero". Andrà quindi definita una soglia di accettabilità del rischio residuo dal punto di vista sociale, economico, culturale e giuridico. Usiamo spesso il termine "riduzione (o mitigazione) del rischio idrogeologico" senza mai definirla dal punto di vista quantitativo.

È necessario che questi temi di estrema importanza siano affrontati insieme, coinvolgendo tutte le componenti della geologia: da quelle professionali a quelle della pubblica amministrazione, dagli enti di ricerca a quelle accademiche.

Sarà inoltre necessaria una sempre più forte ed efficace sinergia tra Ordini Regionali e CNG, in modo da favorire l'istaurarsi di un ciclo virtuoso di conoscenza e coordinamento delle reciproche istanze.

Si definirà, così, una strategia che prevede chiaramente gli obiettivi da perseguire e i soggetti incaricati di portare avanti le attività, in modo da rafforzare i rapporti istituzionali con le autorità pubbliche, nonché con imprese e altri professionisti.

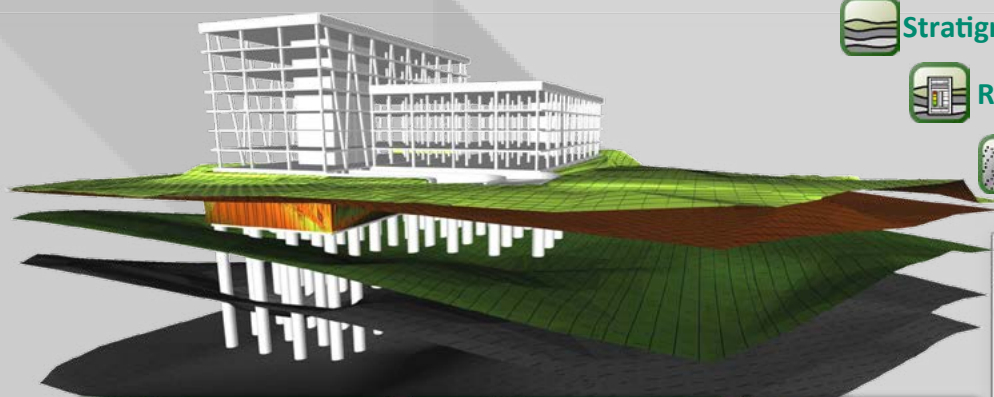
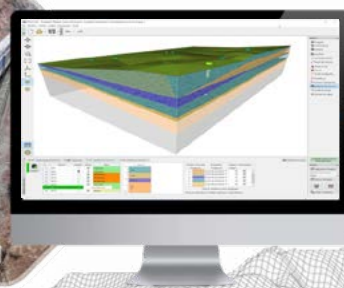


EISEKO
Software for building

GE05

Software per la GEOLOGIA

- Importazione da rilievi topografici con droni
- Modellazione 3D del Terreno
- Importazione oggetti IFC
- Creazione di Sezioni Stratigrafiche
- Inserimento dati da sondaggi
- Interpretazione prove di Laboratorio



Stratigrafia



Sezioni Geologiche



Registro



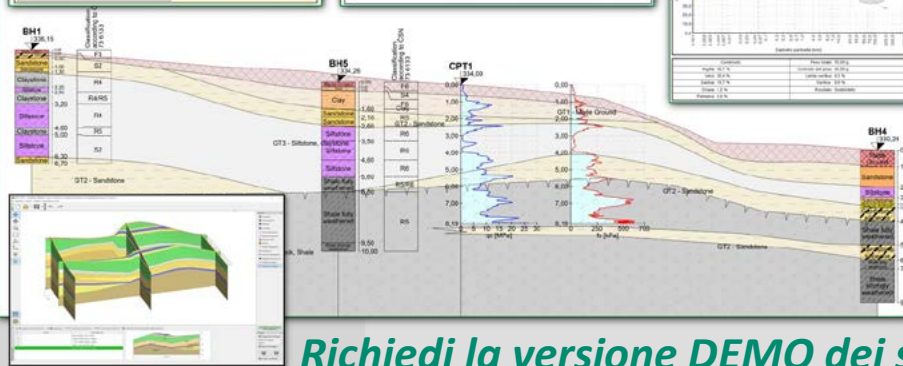
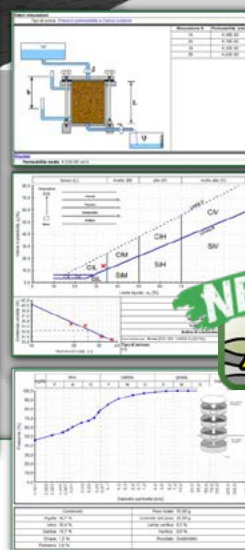
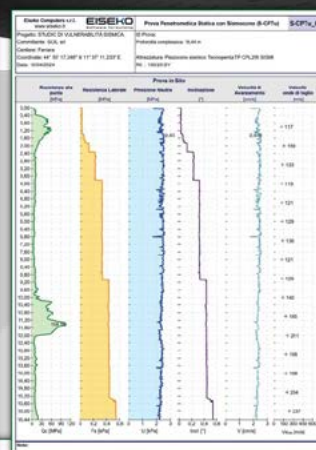
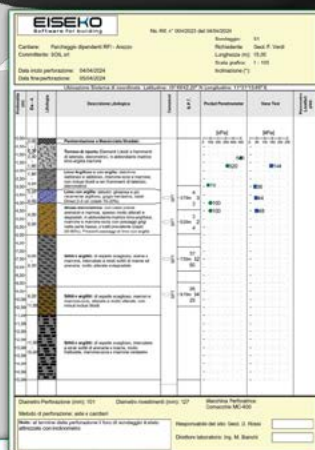
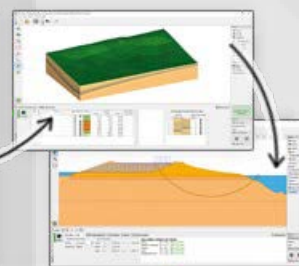
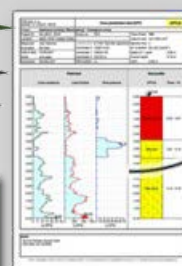
Movimento Terra



Point Cloud



Data Collector



Laboratorio

Il nuovo programma **Laboratorio** fornisce un'efficace elaborazione ed analisi di prove di laboratorio su terreni e rocce.



Richiedi la versione DEMO dei software

SCONTO RISERVATO



PER I LETTORI

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



Impianti di perforazione
dal 1921

+100 YEARS
SINCE 1921
MADE IN ITALY

I nostri campi di applicazione:

Pozzi d'acqua
Geotecnica
Geotermia
Ricerche minerarie
Sismica
Fondazioni
Micropali e Ancoraggi



AQUANEST



**Resiste a
carichi fino a 60
tonnellate**



**Garantito oltre
50 anni**

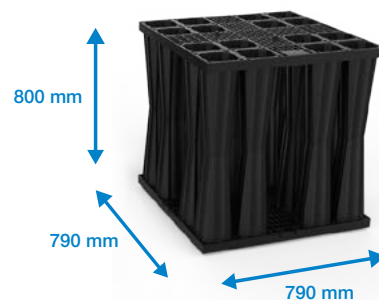


**960 litri di acqua
ogni metro cubo**



**Materiale
riciclabile al
100%**

Il modulo drenante per la gestione dell'acqua piovana!



Aquanest è la soluzione per la gestione delle piogge nelle aree urbane e industriali secondo i principi dell'invarianza idraulica, quindi attraverso l'infiltrazione, il rallentamento e la ritenzione delle acque piovane.

Classificato SLW60 secondo la DIN1072, resiste ai carichi pesanti fino a 60 tonnellate.

Aquanest permette di realizzare invasi interrati di qualsiasi estensione, composti da 3 livelli di moduli e posizionati ad una profondità massima di 6 metri dal piano campagna.

I moduli sono realizzati in polipropilene riciclato (in conformità al Decreto CAM). Rispetto alle soluzioni in calcestruzzo, non risentono dell'azione dell'umidità e del contatto con l'acqua, garantendo una longevità superiore ai 50 anni!

Seguici su:



www.valsir.it

MADE IN ITALY



valsir®
QUALITÀ PER L'IDRAULICA

focus

ATTI DEL CONGRESSO

Speciale 2024



CONSIGLIO NAZIONALE
DEI GEOLOGI



A cura di **Valentina Casolini**
Consigliere Consiglio Nazionale
dei Geologi

Il Congresso dei Geologi Italiani 2024 ha visto la sua tappa conclusiva della presentazione degli atti a Genova il 13 e 14 novembre. L'evento è stato organizzato dal Consiglio Nazionale dei Geologi, con il supporto della Commissione "Grandi Eventi" e del Centro Studi del CNG con il coordinamento locale dell'Ordine Regionale dei Geologi della Liguria. L'obiettivo del Congresso è stato quello d'individuare il percorso condiviso con gli iscritti per il futuro della professione affinché sia richiamata l'attenzione sulla centralità della figura del geologo, che è in grado, grazie alle sue competenze specialistiche, di favorire le soluzioni funzionali per il benessere della collettività. La conclusione del Congresso ha visto la partecipazione in presenza complessiva di circa 250 geologi. La prima giornata si è aperta nel pomeriggio del 13 novembre presso NH Hotel Genova Centro con il passaggio di consegne fra il Presidente dell'Ordine dei Geologi della

Sicilia Mauro Corrao, che ha ospitato la prima parte del Congresso a Palermo dal 23 al 25 maggio, e il Presidente dell'Ordine dei Geologi della Liguria Paolo Airdi ospitante l'ultima fase congressuale. I lavori hanno previsto una sessione di confronto programmatico sui temi cruciali della categoria attraverso tavoli di discussione moderati da Silvia Paparella, Amministratrice Delegata di Ferrara Expo, con gli Ordini Regionali e con il nostro ente di assistenza e Previdenza EPAP, conclusasi con la presentazione del documento riassuntivo relativo da parte del Presidente del CNG Arcangelo Francesco Violo. Le tematiche discusse hanno spaziato dall'evoluzione dell'ordinamento previdenziale e assistenziale di categoria, fino a toccare i temi delle competenze professionali, dello sviluppo dell'ordinamento professionale e pari opportunità, per poi concludere con il mercato della geologia e con il coordinamento delle attività ordinistiche e nazionali per la valorizzazione della professione.

L'insorgere di nuove sfide globali quali ad esempio i cambiamenti climatici e le energie rinnovabili, hanno incrementato l'evoluzione della professionalità della nostra categoria. Nello stesso tempo l'evoluzione tecnica e normativa richiedono aggiornamento e implementazione continua delle competenze professionali, anche in particolare in un'ottica di collaborazione multidisciplinare, per adeguarsi alle sfide del mercato del futuro. E' ormai necessaria una riforma dell'ordinamento professionale in considerazione dell'evoluzione del mercato comunitario e risulta fondamentale promuovere l'applicazione di un regolamento che possa garantire l'effettiva e reale parità di genere nell'accesso all'esercizio della professione oltre che di un regolamento in materia di titoli universitari abilitanti che possano garantire e facilitare l'accesso alla professione per i giovani laureati, riducendo il gap temporale fra il conseguimento della laurea e l'ottenimento dell'abilitazione. Grazie al rapporto CRESME sul mercato della geologia in Italia, che è stato presentato in questa giornata e promosso dal Centro Studi del CNG,

Tavolo 1

Materie prime ed energia: quale futuro per il paese?



Tavolo 2

Tutela dell'ambiente, dei geositi e del paesaggio



Tavolo 3

Governo delle acque: futuro e sostenibilità



Tavolo 4

Nuovi indirizzi per la pianificazione e la gestione dei rischi



Tavolo 5

Università, istruzione, formazione e pari opportunità



Tavolo 6

Progettazione geologica, geotecnica, idraulica e sismica



oltre che fortemente voluto dal Consiglio Nazionale dei Geologi, è stato evidenziato come il mercato di riferimento sia cresciuto in virtù delle nuove opere pubbliche infrastrutturali, di nuova edilizia, della pianificazione e gestione dei rischi naturali e degli interventi in tema di produzione energetica. Sul tema della necessità di rafforzare sia i rapporti istituzionali che la comunicazione, si prevede di agire attraverso la messa in campo di un piano di azione fra gli Ordini Territoriali e il CNG. La giornata del 14 novembre si è tenuta presso la prestigiosa sede del Salone Cambiaso del Palazzo Meridiana.

Attraverso i tavoli tecnici composti da esperti del mondo del settore professionale, degli enti pubblici e della politica, sono stati presentati i risultati dei lavori dei tavoli tematici svoltisi il 24 maggio durante l'evento congressuale di Palermo, con la moderazione di Lorenzo Bellicini, Direttore Tecnico di CRESME e del Giornalista RAI Gianluca Semprini. I tavoli tecnici sono stati preceduti da importanti interventi istituzionali, fra cui in particolare quello del Sottosegretario di Stato alla Presidenza del Consiglio dei ministri Alessandro Morelli, dell'Assessore ai Trasporti, mobilità integrata, ambiente, rifiuti, animali, energia del Comune di Genova Matteo Campora e del Segretario Generale dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale Gaia Checcucci. I tavoli tecnici introdotti dalla Consigliera CNG Valentina Casolini hanno toccato i seguenti argomenti: risorse idriche e cambiamenti climatici, materie prime ed energia, ambiente, geositi e paesaggio, progettazione geologica, geotecnica, idraulica e sismica di costruzioni e infrastrutture, istruzione università e formazione professionale.

Per le materie prime ed energia gli obiettivi del tavolo hanno riguardato: la necessità di uno sviluppo di un programma nazionale che

contempi le fonti energetiche rinnovabili; il superamento delle criticità del Decreto Ministeriale "Geoscambio a circuito chiuso" 30.09.2022 con le proposte avanzate dalla Piattaforma Geotermia di cui il CNG ne è coordinatore; la proposta di un testo normativo sul circuito aperto; l'adeguamento della normativa italiana con proposte relativamente ai principi del Critical Raw Minerals and Materials Act al fine di consentire lo sfruttamento sostenibile delle materie prime critiche e strategiche. Per la tutela del paesaggio e ambiente gli scopi trattati sono stati: la necessità di integrare le competenze geologiche nelle politiche ambientali, con la revisione delle relative normative e la promozione delle geoscienze tra le nuove generazioni; la necessità di una normativa quadro in materia di tutela del suolo per la gestione sostenibile e resiliente del territorio; la promozione a livello nazionale di una specifica legge sul consumo di suolo; il miglioramento della normativa relativa alla protezione della salute pubblica all'esposizione al Radon, con il potenziamento del ruolo del geologo; la valorizzazione del paesaggio al fine di aumentare la resilienza ambientale attraverso strategie operative di cura e protezione, conoscenza e sensibilizzazione; adeguamento delle leggi che codificano il paesaggio, dando rilevanza alla componente geologica; la proposta di azioni chiave sulla Convenzione Europea del paesaggio al fine d'esplicitare il concetto di geodiversità. Per le risorse idriche e in particolare per la governance si è parlato della necessità del raggiungimento di un modello di pianificazione e gestione adattiva della risorsa idrica in linea con le sfide imposte dai cambiamenti climatici. Gli obiettivi affrontati comprendono nel dettaglio i seguenti aspetti: la programmazione e pianificazione delle risorse idriche; l'aspetto delle concessioni autorizzazioni e sanzioni, il monitoraggio qualitativo e quantitativo dei corpi idrici; gli inquinanti emergenti associati ai PFAS e i procedimenti di bonifica; le aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile e la ricarica controllata degli acquiferi. Per i nuovi indirizzi per la pianificazione e la gestione dei rischi gli obiettivi prefissati hanno riguardato: il favorire una corretta gestione del territorio in termini di uso del suolo e pianificazione urbanistica affinché si possa avere un quadro omogeneo a livello nazionale di valutazione del dissesto idrogeologico; la revisione dell'art. 67 del D.Lgs. 152/2006 finalizzata a definire i principi fondamentali in materia di dissesto per l'attuazione di politiche di mitigazione del rischio definendo le condizioni di pericolosità e propensione. Per il tema dell'università, dell'istruzione e della formazione, tenuto conto della collaborazione sempre più necessaria tra professione e università, dell'evoluzione del mercato professionale e dello stato attuale della libera professione, gli obiettivi esaminati sono stati: la reintroduzione come materia obbligatoria dell'esame finale nelle scuole secondarie delle Scienze della Terra e l'attivazione di un percorso universitario che

rafforzi le capacità professionali dei neolaureati; il riconoscimento definitivo e formale della figura del geologo quale progettista; l'adattamento della formazione professionale alle esigenze future della professione dovrà prevedere le argomentazioni relative alle "Soft Skills", in aggiunta alle "Hard Skills", che aiuteranno il geologo a sviluppare e gestire al meglio le proprie competenze trasversali. Per la tematica della sostenibilità delle costruzioni e delle infrastrutture gli obiettivi sostenuti in relazione alla progettazione riguardano: la necessità di revisione del Testo Unico delle costruzioni al fine dell'eliminazione delle incongruenze, di favorire i processi di rigenerazione urbana e di recupero del patrimonio edilizio esistente e di perseguire la riduzione della vulnerabilità sismica del patrimonio esistente; la revisione delle NTC per porre

rimedio alla frammentazione dei contenuti geologici; il ribadire l'importanza della figura del progettista geologo come avvenuto nell'ambito della ricostruzione del Sisma Centro Italia; la necessità di avere una più efficace accessibilità ed interoperabilità dei dati all'interno dei portali nazionali e regionali, per la programmazione e lo studio preliminare dei siti; l'inserimento della valutazione del rischio residuo e la soglia del rischio accettabile in merito alle opere di difesa dai dissesti; di un correttivo chiarificatore nel Codice dei Contratti che preveda espressamente che tutte le fasi progettuali debbano contenere studi specialistici geologici, geomorfologici, idrogeologici, idraulici, geotecnici e sismici. La conclusione del congresso condotta dal Presidente CNG Arcangelo Francesco Violo ha messo chiaramente in luce come entrambe le giornate siano state di grande rilievo per l'approfondimento degli argomenti trattati e per l'analisi dell'andamento della professione in relazione al contesto sociale ed economico. Numerose testate giornalistiche locali e nazionali hanno partecipato al Congresso riportandone i contenuti e contribuendo così alla divulgazione della professione e della conoscenza geologica.

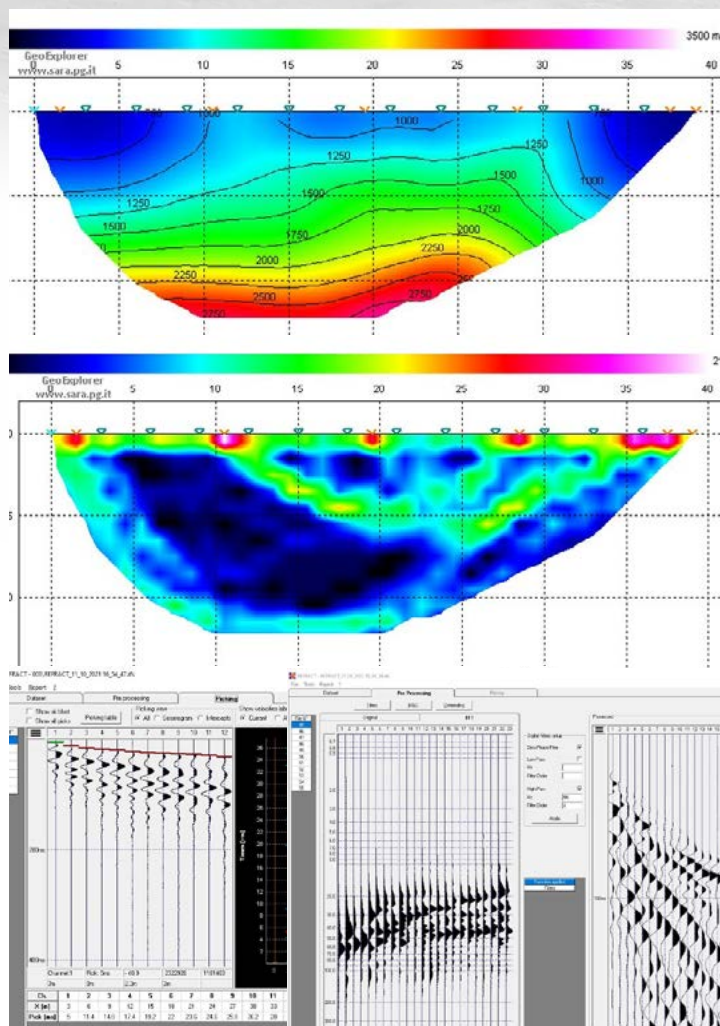


Atti congressuali



GEOEXPLORER REFRACT

- Ora con TOMOGRAFIA
- Metodo intercette e GRM
- Correzione topografica
- Report in pdf automatico
- Potente preprocessing
 - Filtri
 - IAGC
 - Detrending
 - Autostacking
 - Muting
 - Killing trace...



Via Angelo Morettini, 11 06128 Perugia
+39 075 5051014
www.sara.pg.it - info@sara.pg.it





Specializzati nella Trivellazione

Pozzi per acqua, Palificazioni, Geotermia,
Sondaggi Ambientali e Geognostici, Dispersori
Catodici





focus

IL FUTURO DELLA GEOLOGIA IN ITALIA:

Considerazioni sul rapporto CRESME 2024

A cura di **Lorenzo Benedetto**



A cura di **Lorenzo Benedetto**
Presidente Centro Studi del Consiglio
Nazionale dei Geologi

Premessa

Il Consiglio di Amministrazione del Centro Studi del CNG, che ho l'onore di presiedere, ha fortemente sostenuto la realizzazione del rapporto "Il mercato della geologia in Italia: domanda, offerta, formazione, concorrenza. 2023-2027". Presentato in occasione del Congresso di Genova, questo documento è il frutto di una ricerca approfondita e lungimirante condotta dal Centro di ricerche di mercato CRESME. Basato su dati oggettivi e organizzato con rigoroso metodo scientifico, il rapporto si propone di delineare le possibili evoluzioni della professione del geologo, offrendo una chiave di lettura utile a comprendere il quadro complessivo e a guidare la professione verso gli sviluppi futuri.

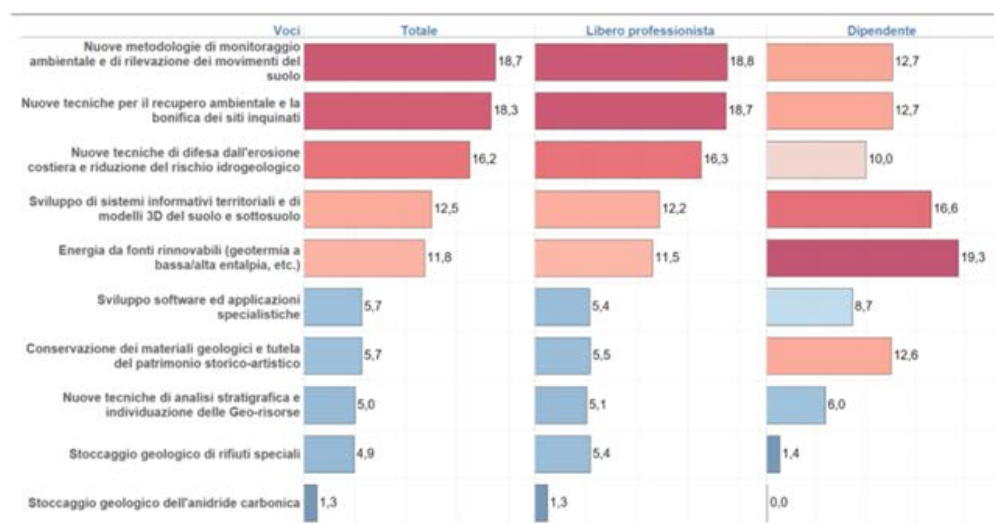
In un contesto globale in cui le sfide ambientali e territoriali diventano sempre più complesse, l'importanza di dati solidi e aggiornati appare fondamentale per comprendere il ruolo cruciale che la nostra professione gioca e giocherà nel futuro. Questo rapporto offre un'analisi approfondita delle tendenze attuali e delle previsioni sul settore, delineando opportunità e sfide che i geologi dovranno affrontare negli anni a venire, ponendo particolare attenzione ai mutamenti del mercato, alle nuove tecnologie e alla crescente domanda di sostenibilità.

Il rapporto, pertanto, oltre a studiare le condizioni attuali, individuare e analizzare con criterio gli ambiti di competenza del geologo, osservando anche il modo in cui si orientano gli investimenti e l'offerta professionale sul mercato, pone l'attenzione, in modo particolare, sull'aspetto formativo, al fine di comprendere al meglio le oscillazioni delle scelte dei nuovi laureati sui vari percorsi accademici da intraprendere e sugli indirizzi professionali da seguire.

Negli ultimi anni, il mercato della geologia in Italia ha registrato significativi cambiamenti, riflettendo una combinazione di tendenze economiche, tecnologiche e ambientali. Questo settore, tradizionalmente associato a lavori specialistici nelle costruzioni e nella gestione del territorio, sta ridefinendo il proprio ruolo per rispondere alle sfide del futuro.

Prima della pandemia, infatti, un'indagine del Cresme, promossa dalla Rete delle Professioni Tecniche, ha analizzato l'evoluzione della professione del geologo in Italia, coinvolgendo circa 250 professionisti. I risultati, ancora attuali, evidenziano che difesa del suolo e ambiente erano considerati i settori più strategici, seguiti da pianificazione territoriale e geologia applicata all'energia, in particolare geotermia e fonti fossili.

Nell'ambito della richiamata indagine, per il futuro (5-10 anni), i



Settori di mercato con le prospettive migliori tra 2019-2024

Fonte: Prima indagine RPT/Cresme sulle professioni tecniche in Italia (2018)

geologi ritenevano più promettenti le nuove metodologie di monitoraggio ambientale e rilevazione dei movimenti del suolo, seguite da tecniche di bonifica di siti inquinati, riduzione del rischio idrogeologico, sviluppo di sistemi informativi territoriali ed energie rinnovabili geotermiche.

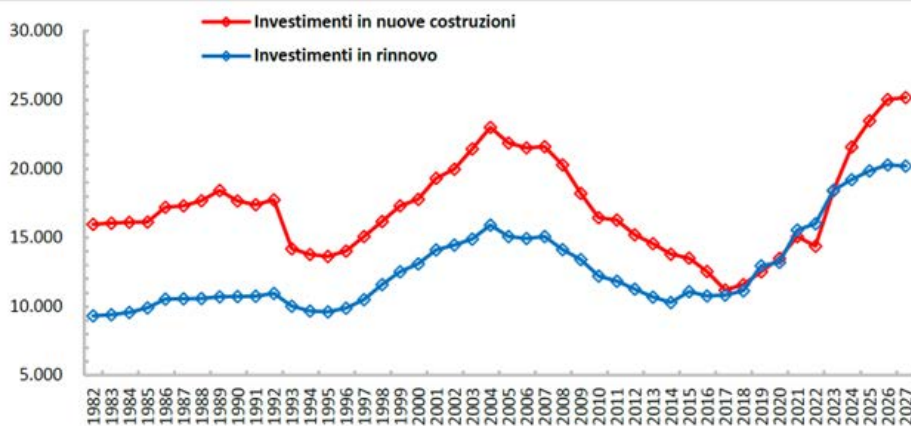
Costruzioni

Secondo il rapporto CRESME il settore delle costruzioni in Italia non è più dominato dalla realizzazione di nuove abitazioni, poiché il Paese registra uno dei tassi più bassi in Europa per nuove costruzioni. Il mercato si sta invece concentrando sulla manutenzione ordinaria e straordinaria, che rappresenta oltre il 70% del valore della produzione. Le direttive europee impongono miglioramenti nelle performance energetiche degli edifici, rendendo necessari interventi sul patrimonio esistente, così come la vetustà del patrimonio edilizio richiede interventi di miglioramento/adeguamento sismico. Le tendenze attuali e future includono dunque manutenzione programmata, rigenerazione urbana, efficientamento energetico, riduzione della vulnerabilità, digitalizzazione e aumento della produttività. Inoltre, il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza sta stimolando investimenti nelle opere pubbliche ed in particolare nelle

infrastrutture per modernizzare il Paese. Gli investimenti in ingegneria civile sono infatti spinti dal PNRR, che sostiene la transizione ecologica e digitale con oltre 300 miliardi di euro di fondi pubblici. La nuova versione del Piano, approvata nel 2023, prevede 194,4 miliardi e include la missione REPowerEU. A questi si aggiungono i progetti “sblocca cantieri” e interventi per il Giubileo 2025, le Olimpiadi Invernali di Cortina e i Giochi del Mediterraneo 2026.

Sfide Ambientali: Cambiamenti Climatici e Dissesto Idrogeologico

Le condizioni ambientali rappresentano, altresì, una sfida cruciale. Il dissesto idrogeologico continua a causare gravi danni, con circa 30 eventi all'anno che interessano il territorio italiano. Inoltre, il rischio idraulico colpisce quasi il 10% del territorio nazionale, aggravato dal consumo di suolo e dai cambiamenti climatici in atto. La professione del geologo è destinata a giocare un ruolo chiave nell'adattamento ai cambiamenti climatici, supportando strategie di mitigazione e prevenzione. L'Italia è uno dei Paesi europei maggiormente esposti ai rischi derivanti dai cambiamenti climatici, che si ripercuotono su tutti i settori determinando danni e perdite di vite umane ed economiche (vedi figura sottostante). Frane, alluvioni e siccità rappresentano minacce sempre più frequenti e devastanti. In questo contesto, i geologi giocano un ruolo chiave nella pianificazione di strategie: di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici, di uso sostenibile e protezione delle risorse idriche, di transizione verso una economia circolare, di prevenzione e riduzione dell'inquinamento e di protezione e ripristino della biodiversità e degli ecosistemi. Il rapporto sottolinea l'importanza di una gestione integrata del territorio, che includa la riduzione del consumo di suolo, la prevenzione dei rischi naturali e la promozione di pratiche sostenibili. Per raggiungere questi obiettivi, è necessario un maggiore impegno da



Fonte: CRESME/SI

*Investimenti in
infrastrutture
(milioni di euro)*



Fonte: elaborazione CRESME 2022

parte delle istituzioni e un dialogo costante tra professionisti, aziende e decisori politici.

Innovazione e Aree Strategiche

Le prospettive di crescita si concentrano su aree innovative come il monitoraggio ambientale, la bonifica di siti inquinati, la riduzione del rischio idrogeologico e lo sviluppo di energie rinnovabili. In particolare, le tecnologie avanzate stanno trasformando il lavoro del geologo, che ora include la modellizzazione tridimensionale del suolo, l'uso di sistemi informativi geografici e lo sviluppo di software specifici.

Energie Rinnovabili: Una Nuova Frontiera

Un altro settore in rapida espansione è quello delle energie rinnovabili. Nel 2023, la produzione energetica da fonti rinnovabili ha superato per la prima volta quella derivante da combustibili fossili. Questo traguardo riflette l'importanza crescente di solare, eolico e geotermia, settori in cui i geologi sono chiamati a fornire competenze specialistiche.

Andamento degli Iscritti alle Università e all'Ordine dei Geologi

Negli ultimi anni, l'interesse per i corsi di laurea in geologia ha mostrato un andamento in riduzione. Le immatricolazioni sono diminuite del 20% rispetto al decennio precedente, riflettendo una tendenza comune a molte discipline scientifiche. Tuttavia, i dati più recenti suggeriscono una lieve ripresa, attribuita evidentemente alla

crescente consapevolezza dell'importanza delle competenze geologiche nel contesto delle sfide ambientali e climatiche.

Allo stesso tempo, anche l'iscrizione all'Ordine dei Geologi ha subito un calo. Nel 2023, il numero complessivo di iscritti è risultato inferiore rispetto al picco registrato negli anni 2000. Questo calo è attribuibile sia al minor numero di laureati che alla percezione di difficoltà nel mercato del lavoro. A ottobre 2024 erano iscritti all'albo 11.139 geologi, quasi 3.500 in meno rispetto al 2010 (vedi tabella seguente). Negli ultimi quindici anni il calo del numero di iscritti è stato progressivo, la categoria sta invecchiando e, visti i dati universitari delle immatricolazioni e dei laureati, la tendenza è destinata a proseguire almeno nel breve-medio termine. Tuttavia, il ruolo centrale del geologo in ambiti strategici come la transizione energetica e la mitigazione dei rischi naturali sembra stia gradualmente invertendo questa tendenza. Nel prossimo futuro, si prevede, infatti, un crescente riconoscimento delle competenze specialistiche all'interno del panorama economico e professionale del Paese. Tale tendenza rispecchia una visione strategica rinnovata, che colloca le funzioni del geologo in una posizione di centralità, in particolare, nell'affrontare le sfide legate alla gestione e alla mitigazione dei rischi naturali ed ambientali.

Considerazioni conclusive

Il mercato della geologia in Italia è in transizione verso un modello più sostenibile e tecnologicamente avanzato. Mentre i segnali economici sono incoraggianti, restano criticità legate a squilibri generazionali e di genere. Per il futuro, il focus si sposta verso una maggiore integrazione della sostenibilità ambientale e dell'innovazione tecnologica, rendendo la professione del geologo un pilastro essenziale per affrontare le sfide del nostro tempo.

Cresce il Ruolo del Geologo nel Mercato

Il ruolo del geologo ha acquisito maggiore rilevanza grazie al

I geologi italiani iscritti all'Albo unico

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
(Iscritti) Albo	14.632	14.467	14.199	13.903	13.600	13.169	12.739	12.477
Geologi per diecimila abitanti	2,45	2,41	2,36	2,31	2,25	2,18	2,12	2,08
Var.%	-1,1%	-1,9%	-2,1%	-2,2%	-3,2%	-3,3%	-2,1%	-1,1%

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024*
(Iscritti) Albo	12.255	11.953	11.608	11.410	11.241	11.067	11.139
Geologi per diecimila abitanti	2,04	2,00	1,95	1,93	1,90	1,88	1,89
Var.%	-1,8%	-2,5%	-2,9%	-1,7%	-1,5%	-1,5%	0,7%

Fonte: Elaborazione Cresme su dati CNG (ottobre 2024)

riconoscimento delle sue competenze in ambiti strategici come il monitoraggio ambientale, la riduzione del rischio idrogeologico, e la gestione delle fonti rinnovabili. Questo rinnovato interesse è alimentato dalla domanda di interventi mirati alla prevenzione e gestione dei rischi naturali, un tema sempre più centrale nel contesto italiano, caratterizzato da frequenti eventi climatici estremi. L'espansione del mercato delle costruzioni, sostenuta dagli incentivi fiscali e dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), ha ulteriormente rafforzato la posizione dei geologi. La loro expertise è essenziale non solo nella realizzazione di nuove opere ma soprattutto nella rigenerazione del patrimonio edilizio esistente, attraverso interventi di miglioramento sismico ed energetico.

Aumenta il Reddito Medio, ma Persistono Disparità e si Riduce il Numero

Dal 2016 al 2022, il reddito medio dei geologi italiani è aumentato significativamente, passando da 28.220 euro a 45.612 euro annui. Questo miglioramento riflette l'espansione delle opportunità di lavoro nei settori tradizionali e l'emergere di nuovi ambiti professionali. Tuttavia, permangono disuguaglianze. Il gender pay gap rimane una questione critica: il reddito medio delle donne geologo è ancora inferiore del 78,7% rispetto ai colleghi uomini, nonostante i

recenti miglioramenti. A livello territoriale, le disparità sono altrettanto evidenti, con il Sud Italia che registra redditi inferiori rispetto al Nord. La necessità di politiche mirate per riequilibrare queste differenze è una delle priorità per il futuro della professione. Inoltre, a fronte della crescita significativa del reddito, il numero dei geologi per ogni diecimila abitanti è sceso a circa 1,9 rispetto a 2,45 che si registrava nel 2015.

La Sfida della Formazione

Il sistema formativo rappresenta un pilastro fondamentale per il futuro della geologia in Italia. Tuttavia, il calo del 20% delle immatricolazioni negli ultimi dieci anni riflette una diminuzione dell'interesse verso questa disciplina. Tra le cause principali vi sono la percezione di un mercato del lavoro limitato e una scarsa consapevolezza del potenziale offerto dalla professione. Per invertire questa tendenza, il rapporto sottolinea l'importanza di rivedere i programmi universitari, allineandoli maggiormente alle esigenze del mercato. È essenziale promuovere percorsi formativi multidisciplinari, che includano competenze digitali, gestione dei dati e applicazioni tecnologiche avanzate. Inoltre, occorre intensificare le campagne di sensibilizzazione nelle scuole superiori per attrarre nuovi talenti.

Occupazione e Neolaureati: Uno Scenario in Evoluzione

I giovani laureati in geologia si trovano ad affrontare un mercato del lavoro in trasformazione. Se da un lato le opportunità nei settori tradizionali sono stabili, dall'altro emergono nuovi ambiti di impiego legati alla sostenibilità e alle energie rinnovabili. Tuttavia, il rapporto evidenzia un periodo di transizione in cui i neolaureati devono affrontare tempi di inserimento più lunghi e spesso salari iniziali inferiori. Una delle principali criticità riguarda la mancanza di collegamento tra il mondo accademico e quello professionale. Per migliorare l'occupabilità dei giovani, è fondamentale rafforzare i tirocini curriculari e le collaborazioni con le aziende, cogliendo



...“Investire sempre di più nella formazione, promuovere l'innovazione e valorizzare il ruolo del geologo sono le chiavi per garantire un futuro prospero a questa professione....”

l'occasione delle lauree abilitanti e favorendo così un inserimento più rapido nel mercato del lavoro.

Innovazione e Sostenibilità: Le Chiavi del Futuro

La capacità dei geologi di adattarsi alle nuove sfide ambientali e tecnologiche rappresenta un elemento cruciale per il futuro della professione. Tra i settori strategici, la geologia applicata all'energia rinnovabile è destinata a crescere rapidamente. Le competenze richieste spaziano dalla geotermia alla gestione di progetti legati al solare e all'eolico.

Parallelamente, l'innovazione tecnologica sta trasformando il modo in cui i geologi lavorano. L'adozione di strumenti avanzati, come i sistemi informativi geografici, i modelli tridimensionali e l'intelligenza artificiale, non solo migliora l'efficienza ma apre nuove possibilità di intervento e ricerca.

Un Approccio Integrato per Affrontare i Cambiamenti Climatici

L'Italia è uno dei Paesi europei maggiormente esposti ai rischi derivanti dai cambiamenti climatici. Frane, alluvioni e siccità rappresentano minacce sempre più frequenti e devastanti. In questo contesto, i geologi giocano un ruolo chiave nella pianificazione di strategie di mitigazione e adattamento. Il rapporto sottolinea l'importanza di una gestione integrata del territorio, che includa la riduzione del consumo di suolo, la prevenzione dei rischi naturali e la promozione di pratiche sostenibili. Per raggiungere questi obiettivi, è necessario un maggiore impegno da parte delle istituzioni e un dialogo costante tra professionisti, aziende e decisori politici.

Una Professione Strategica

Il ruolo del geologo sta acquisendo crescente importanza a causa delle trasformazioni ambientali e infrastrutturali in corso. Il settore è sempre più coinvolto nella gestione degli effetti dei cambiamenti climatici, come alluvioni, dissesto idrogeologico e siccità, fenomeni che stanno aumentando sia in frequenza che in intensità. Le precipitazioni, sempre più concentrate e violente, riducono la capacità di assorbimento del suolo, causando frane ed erosione e mettendo a rischio milioni di persone, edifici e imprese, come evidenziato nei Piani di Assetto Idrogeologico e nei Piani di Gestione Rischio Alluvioni. Parallelamente, il geologo è chiamato a svolgere un ruolo chiave nella progettazione geotecnica, geologica e sismica delle costruzioni e delle infrastrutture, sia per il boom edilizio e infrastrutturale legato al PNRR, sia per la necessità di mitigare il rischio sismico, che nel nostro paese è particolarmente gravoso sia per le condizioni di pericolosità legate alla natura geologica, che di vulnerabilità del costruito a causa della sua vetustà.

Un altro ambito in espansione è quello della transizione energetica, dove il geologo è coinvolto nella produzione di energia da fonti rinnovabili, in particolare eolico, fotovoltaico e biomasse, settori in forte crescita dagli anni 2000. Inoltre, il geologo ha un ruolo cruciale nella ricerca, nell'estrazione e nella tutela ambientale delle materie prime, incluse le terre rare, essenziali per le nuove tecnologie. Questi scenari di mercato sono strettamente connessi allo sviluppo che la professione del geologo avrà nei prossimi anni, offrendo prospettive di crescita e trasformazione ed enormi opportunità per chi saprà cogliere i cambiamenti in atto, confermandosi come un elemento strategico per affrontare le grandi sfide del nostro tempo, dalla sostenibilità ambientale alla resilienza territoriale. Investire sempre di più nella formazione, promuovere l'innovazione e valorizzare il ruolo del geologo sono le chiavi per garantire un futuro prospero a questa professione. Il percorso richiederà uno sforzo sinergico dell'intera comunità dei geologi (professionisti, pubblici dipendenti, universitari, ricercatori, ecc.), ma il potenziale è enorme. La geologia non è solo una scienza della Terra, ma una professione che plasma il futuro.

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.

- 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



P/S Wave Borehole Energy Source



Borehole Deviation Probe



Lo stato dell'arte della risorsa geotermica nelle zone di Civitavecchia e Tolfa, Lazio nord-occidentale, Italia centrale. 2. Idrogeologia e Conclusioni

The state of the art of the geothermal resource in the areas of Civitavecchia and Tolfa, north-western Lazio, central Italy. 2. Hydrogeology and Conclusions

Ugo Chiocchini | Già professore ordinario di Geologia applicata, Università degli Studi della Tuscia
 E-mail: luca_chiocco@libero.it



Termini chiave: Risorsa geotermica, Civitavecchia, Tolfa, Lazio nordoccidentale, Monti della Tolfa, Idrogeologia

Keywords: Geothermal resource, Civitavecchia, Tolfa, northwestern Lazio, Tolfa Mountains, Hydrogeology

Summary

Research for the exploitation of geothermal energy in the Tolfa Mountains proposed two conceptual hydrogeological models which differ essentially both in the impervious hydrogeological role of the Complex of Flysch and in the recharge area of the carbonate aquifer, which hosts the thermal fluids in the underground, located in the central Apennines. The conceptual hydrogeological model proposed by a hydrogeological study for the construction of a Spa structure in the Civitavecchia area, through the DOCUP Objective 2 1997/1999 Single Economic Programming Document - European Regional Development Fund, is unreliable due to gaps, terminological confusion, and geological and hydrogeological contradictions. The thermal water, which emerged in three historical springs in the Civitavecchia area, dried because of the drilling of four wells, which intercepted the thermal water for the construction of the Spa facility, while it is flowing from a spring in the Tolfa area, whose yield is 0.6

L/s. The four wells, of which only one is currently efficient, should have guaranteed the overall yield of 9 L/s of thermal water, i.e. a low quantity for the management of a modern structure, compared to 10 - 15 L/s hypothesized by the hydrogeological study. Furthermore, the uncompleted building of the Spa facility is abandoned. This overall desolate picture in the municipal area of Civitavecchia has led to a huge and useless waste of public money.

Riassunto

Le ricerche per lo sfruttamento dell'energia geotermica nei Monti della Tolfa hanno proposto due modelli idrogeologici concettuali che differiscono essenzialmente sia per il ruolo idrogeologico impermeabile del Complesso del Flysch, sia per l'area di ricarica dell'acquifero carbonatico dell'Unità Tettonica della Falda Toscana, che ospita i fluidi termali nel sottosuolo, situata nell'Appennino centrale. Il modello idrogeologico concettuale proposto da uno studio

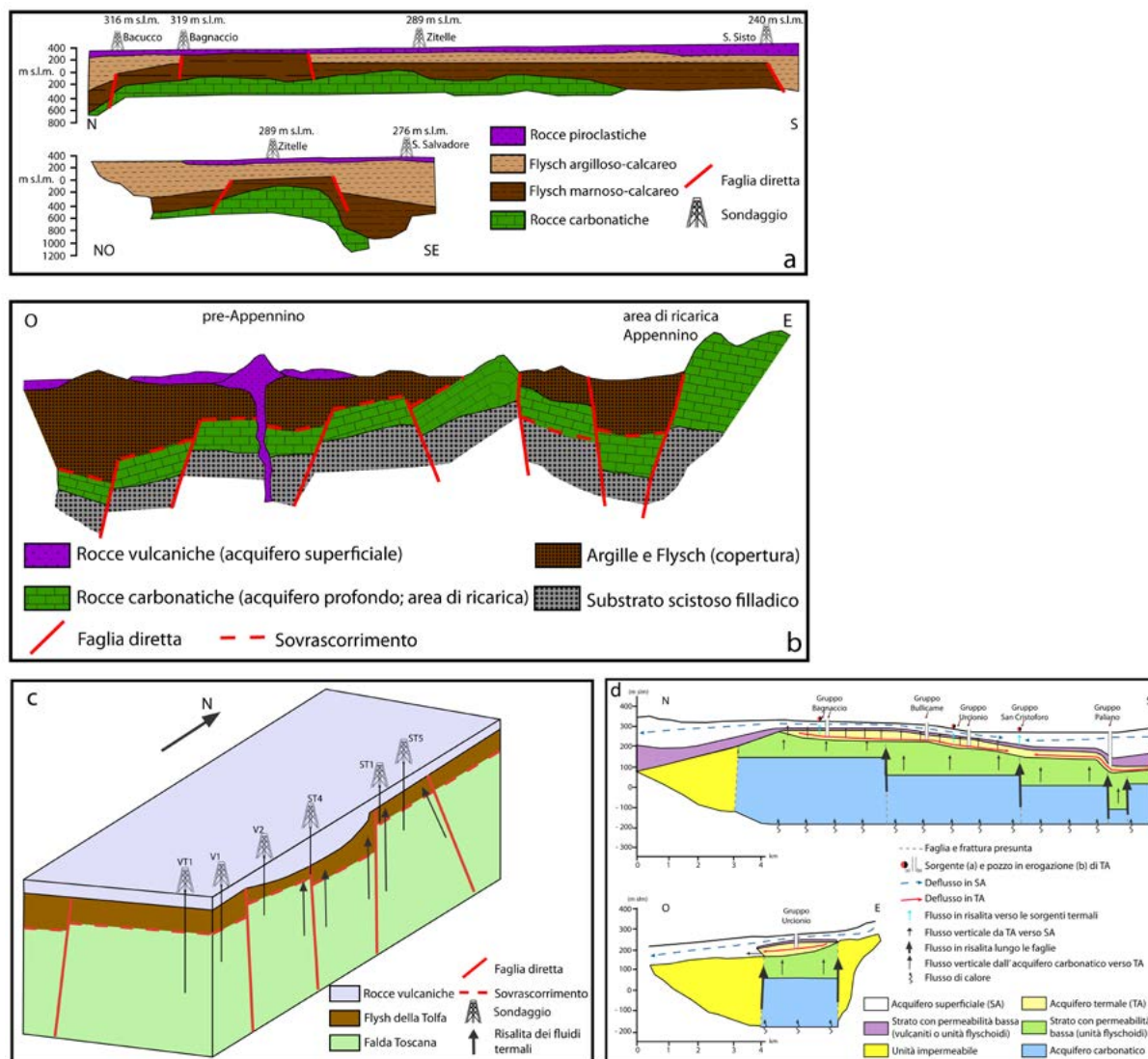


Figura 1 – Modelli idrogeologici concettuali proposti per l'area geotermica di Viterbo. a) da Conforto (1954) (la sezione in alto corrisponde alla sezione A-A, quella in basso alla sezione B-B dell'Autore); b) da Calamai et al. (1976); c) da Chiocchini et al. (2010); d) da Baiocchi et al. (2012) (la sezione in alto corrisponde alla sezione a-a', quella in basso alla c-c' degli Autori). Da Chiocchini & Savarese (2020).

idrogeologico per la costruzione di una struttura termale nella zona di Civitavecchia, mediante il DOCUP Obiettivo 2 1997/1999 Documento Unico di Programmazione Economica - Fondo Europeo di Sviluppo Regionale, risulta inattendibile a causa di lacune, confusione terminologica, e contraddizioni di carattere geologico e idrogeologico. L'acqua termale, che emergeva in tre sorgenti storiche nella zona di Civitavecchia, si è estinta a seguito della perforazione di quattro pozzi per la costruzione della struttura termale, mentre è presente in una sorgente nella zona di

Tolfa, la cui portata è 0,6 L/s. I quattro pozzi, di cui uno solo attualmente efficiente, avrebbero dovuto garantire la portata complessiva di 9 L/s di acqua termale, cioè una bassa quantità per la gestione di una moderna struttura, a fronte di 10 - 15 L/s ipotizzati dallo studio idrogeologico. Inoltre, l'edificio termale non completato risulta abbandonato. Questo desolante quadro complessivo nel territorio comunale di Civitavecchia ha comportato un ingente ed inutile dispendio di denaro pubblico.

Introduzione

Circa l'aspetto geotermico, e con riferimento specifico alla bassa media entalpia, sono particolarmente interessati le strutture il cui potenziale acquifero serbatoio è ubicato a bassa profondità, come la struttura adiacente a Viterbo che arriva fino quasi al Lago di Bracciano e quella tra Civitavecchia e Tolfa. Infatti, dalla carta delle temperature risulta che il tetto dell'acquifero serbatoio nell'area tra i laghi di Bolsena, Vico, e Bracciano e in quella tra Civitavecchia e Tolfa nei Monti della Tolfa mostra spesso temperature superiori a 150°C e le zone di maggiore interesse dentro queste due aree corrispondono con i centri dell'attività vulcanica del Pliocene superiore – Quaternario nel Lazio nordoccidentale.

Le ricerche hanno proposto due tipi di modelli idrogeologici concettuali (Conforto, 1954; Calamai et al., 1976; Buonasorte et al., 1987; Minissale et al., 2002; Piscopo et al., 2006; Senarum Universitatis, 2008; Chiocchini et al., 2010; Baiocchi et al., 2012, 2013; Sbrana et al., 2015; Cinti et al., 2014, 2015; Chiocchini & Manna, 2015; Chiocchini & Savarese, 2019, 2020): il primo modello è mostrato nella Figura 1 a (Conforto, 1954), nella Figura 1 b (Calamai et al., 1976; Buonasorte et al., 1987; Minissale et al., 2002; Marroni et al., 2005; Senarum Universitatis, 2008; Sbrana et al., 2015; Unione Geotermica Italiana, 2011, 2017) e nella Figura 1 c (Chiocchini et al., 2010; Chiocchini & Manna, 2015; Chiocchini & Savarese, 2019, 2020); il secondo modello è riportato nella Figura 1 d (Piscopo et al., 2006; Baiocchi et al., 2012; 2013; Cinti et al., 2014; 2015). Questi tipi di modelli differiscono per tre motivi fondamentali: (i) il ruolo idrogeologico dei Flysch del Cretacico-Eocene tra l'acquifero vulcanico superficiale e l'acquifero carbonatico profondo che ospita i sistemi idrotermali; (ii) la presenza di un presunto acquifero termale (TA); (iii) l'ubicazione dell'area di ricarica dell'acquifero carbonatico. Il secondo modello idrogeologico concettuale (Fig. 1 d) è inattendibile per i motivi documentati dettagliatamente da Chiocchini (2016) e Chiocchini & Savarese (2019; 2020).

Oltre a quanto sopra illustrato in relazione alla risorsa geotermica nella fascia del Lazio nordoccidentale, Pagano et al. (1999; 2001) hanno svolto uno specifico studio nell'ambito del progetto per la costruzione di una struttura termale nel territorio comunale di Civitavecchia mediante il DOCUP Obiettivo 2 1997/1999 Documento Unico di Programmazione Economica - Fondo Europeo di Sviluppo Regionale. Questo studio ha riguardato l'area della Concessione Mineraria "Terme di Traiano", gestita

dal Comune di Civitavecchia (Decreto del Ministro Segretario di Stato per l'Industria e il Commercio del 26 ottobre 1951, con durata di novanta anni), e identificata dagli Autori come *Bacino termale di Civitavecchia*. Per questi due documenti, che contengono lacune, confusione terminologica, e contraddizioni, sia di carattere geologico che idrogeologico, sono necessarie alcune osservazioni di seguito illustrate.

Per quanto riguarda la parte geologica del primo documento (Pagano et al., 1999), si osserva che cinque formazioni riportate nella legenda della Carta Geolitologica non sono rappresentate nella mappa, e nel capitolo Tettonica regionale non appare alcun elemento derivato dai dati di campagna. Nella parte idrogeologica del secondo documento (Pagano et al., 2001) è proposto un modello idrogeologico concettuale che comprende: (i) l'acquifero superficiale freatico dei travertini; (ii) il primo acquifero confinato rappresentato dal Complesso alloctono (Flysch del Cretacico – Eocene) "*scarsamente permeabile*" con valori di portata tra 1 e 2 L/s; (iii) il secondo acquifero confinato, costituito dal Complesso carbonatico mesozoico (o Complesso basale) compreso tra le potenti coperture dei Flysch del Cretacico - Eocene ed il substrato filladico/quarzitico paleozoico. Al riguardo si evidenzia che gli Autori si contraddicono perché il Complesso alloctono (Flysch del Cretacico – Eocene) "*scarsamente permeabile*" non può formare un acquifero confinato, come dimostra il suo basso valore del Coefficiente di Infiltrazione Potenziale (CIP), inferiore a 0,5 (Celico, 1988; Civita, 2005). Circa la "*carta delle isopieze*", si rileva quanto segue: (i) i complessi idrogeologici con la loro permeabilità relativa non sono rappresentati; (ii) le isopieze sono riportate senza distinzione del tipo di acquifero; (iii) il tipo di acqua, fredda o termale, non è indicato in diciannove pozzi e sedici sorgenti; (iv) tredici pozzi non sono utilizzati per mancanza di acqua e le sorgenti sono essiccate (Chiocchini et al., 2022; 2023). Inoltre, in relazione alla "*potenzialità del serbatoio*" di un circuito termale, gli Autori sostengono che "*l'area Tolfetana s.l. con superficie di 360 km² in cui si distingue un alto piezometrico dell'acquifero profondo, che coincide sostanzialmente con la copertura vulcanica dei Monti della Tolfa costituisce la zona di ricarica dell'acquifero, quindi l'area in cui le acque di provenienza zenitale trovano, attraverso le strutture vulcaniche profondamente radicate, nonché attraverso i modesti affioramenti delle formazioni mesozoiche al bordo della placca vulcanica (Bagnarello, Monte delle Fate) la possibilità di infiltrarsi al disotto della copertura neogenica e del substrato alloctono*

impermeabile, fin nel complesso basale, il serbatoio geotermale". Successivamente, invece, ritengono che *"l'area di ricarica, coincidente in ogni modo con la regione Tolfetana s.l., presenta una discreta estensione, ma modesta è la porzione decisamente permeabile ricoperta da vulcaniti (circa 40 km²) e per di più sensibilmente acclive. Il che conduce a valori contenuti dell'infiltrazione efficace annua e di conseguenza a percentuali molto basse la quota di infiltrazione in grado di raggiungere il serbatoio"*. Si deve precisare innanzitutto che i *"modesti affioramenti delle formazioni mesozoiche di Bagnarello e Monte delle Fate"* non solo non appartengono alla Scaglia Toscana, come specificamente precisato nella prima parte della ricerca (1. Stratigrafia e tettonica), ma le loro dimensioni areali sono del tutto trascurabili. Si nota, poi, la seguente contraddizione degli Autori: il *"Complesso alloctono"* (Flysch del Cretacico – Eocene) è stato considerato il primo acquifero confinato, mentre ora il *"substrato alloctono"* è *"impermeabile"*. Inoltre, gli stessi Autori ammettono che, a causa della struttura con *horst* e *graben* che contraddistingue il *"Complesso basale"* con discontinuità laterali, si verificherebbe un radicale ridimensionamento dell'area di ricarica, ed indicano una potenzialità complessiva del *"Bacino termale di Civitavecchia nell'ordine di dieci-quindici L/s"*, ma in realtà i valori della portata spontanea e di quella misurata nei pozzi sopra riportati sono 9 L/s, cioè una quantità inferiore a quella potenziale prevista (10 – 15 L/s).

Nel secondo documento Pagano et al. (2001) descrivono i cinque pozzi[1] perforati nel 2000 - 2001 per la ricerca di acqua termale. Circa la stratigrafia di questi pozzi si osserva che non è descritta mediante il *"profilo stratigrafico del foro con denominazione e rappresentazione simbolica della natura e consistenza dei terreni attraversati con profondità dal piano campagna, quote sul livello del mare e spessore"*, come previsto dalla specifica procedura per le perforazioni di sondaggio (Associazione Geotecnica Italiana, 1977), ma con i termini errati *"flysch calcareo"*, *"flysch argilloso calcareo"*, *"flysch argilloso"*, la cui successione laterale non è correlabile. Ciò è in netto contrasto, oltre a quanto sopra specificato, con lo stato di fatto dei tipi litologici della formazione affiorante nell'area in cui sono stati perforati i pozzi, cioè il *"flysch argilloso calcareo"*, i cui rapporti verticali e laterali con il *"flysch calcareo"* e il *"flysch argilloso"*, non essendo correlabili, non possono essere documentati: tutto ciò si riflette negativamente sul reale significato idrogeologico del complesso flyscioide.

Pertanto, in base a quanto sopra illustrato, lo studio di Pagano et al. (1999; 2001) è inattendibile e fuorviante.

La presente ricerca è compresa nell'ambito dell'attività dell'Associazione Nazionale per gli Interessi del Mezzogiorno d'Italia (ANIMI) – Società Magna Grecia per le ricerche sulle Terme Taurine (o Bagni di Traiano; nel seguito si userà questo ultimo termine) (Chiocchini et al., 2022) e sull'acquedotto costruito da questo imperatore per il porto di *Centumcellae* (Chiocchini et al., 2023), e ha lo scopo di considerare lo stato dell'arte della risorsa geotermica e il suo sfruttamento nelle aree di Tolfa e Civitavecchia.

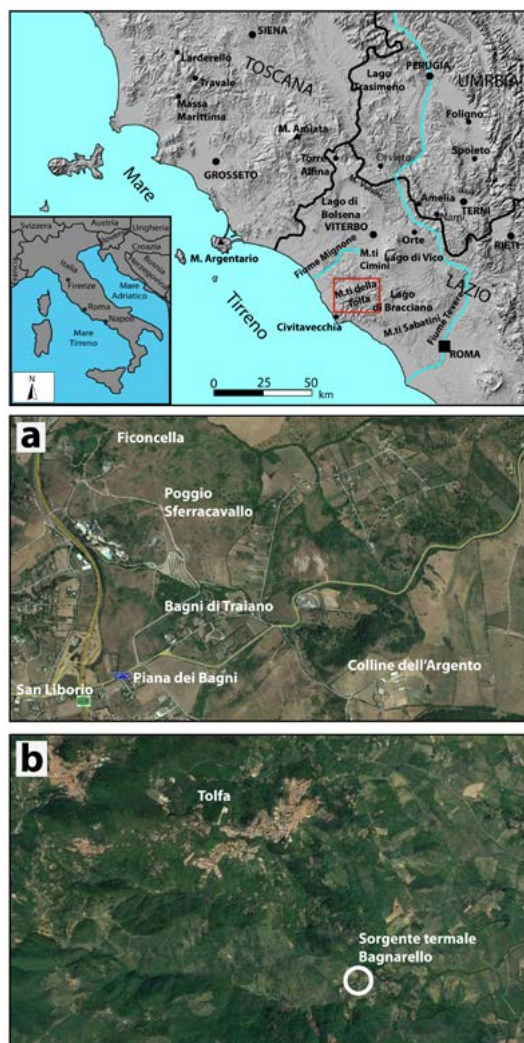


Figura 2 – Ubicazione delle aree studiate. a) area di Civitavecchia; b) area di Tolfa.

Ubicazione delle aree di studio

Le aree di studio nei Monti della Tolfa, situati nella fascia peri-Tirrenica del Lazio centro occidentale in prossimità del confine con la regione Toscana (Fig. 2), sono due: la prima (Fig. 2 a) nel comune di Civitavecchia (tavoleta IGM II NE Tolfa del Foglio 142 Civitavecchia, e elementi 363062 S. Liborio e 363973 Bagni di Traiano della Carta Tecnica della Regione Lazio in scala 1: 5000); la seconda (Fig. 2 b) nella località Il Bagnarello del comune di Tolfa (tavoleta IGM III NO Bagni di Stigliano del Foglio 143 Bracciano, e elemento 363084 La Tolficciola della Carta Tecnica della Regione Lazio in scala 1: 5000).

Materiali e metodi

La ricerca è stata sviluppata in due fasi. Durante la prima fase è stata consultato presso il Comune di Civitavecchia lo specifico studio di Pagano et al. (1999; 2001) relativo al progetto per la costruzione di una struttura termale nel territorio comunale di Civitavecchia mediante il DOCUP Obiettivo 2 1997/1999 Documento Unico di Programmazione Economica - Fondo Europeo di Sviluppo Regionale, ed è stata acquisita dalla stessa Amministrazione comunale la Relazione del Direttore della Miniera sulla Concessione Mineraria "Terme di Traiano" per il periodo 2017 - 2023. Inoltre, sono stati recepiti e rielaborati i dati geologici e idrogeologici di Chiocchini et al. (2022; 2023) relativi, rispettivamente, ai Bagni di Traiano e all'acquedotto di Traiano per il porto di *Centumcellae*.

La seconda fase ha consentito di (i) completare il rilevamento idrogeologico dell'area di Bagnarello nel territorio comunale di Tolfa in base alla normativa della cartografia del Servizio Geologico Nazionale (1995) e dell'ISPRA - Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico Nazionale (2018), utilizzando gli elementi 363084 La Tolficciola, 363062 S. Liborio e 363973 Bagni di Traiano della Carta Tecnica della Regione Lazio; (ii) di definire le coordinate dei pozzi termali perforati da Pagano et al. (2001) e della sorgente termale Il Bagnarello mediante il GPSMAP 64 Garmin. La portata di questa sorgente è stata misurata mediante il metodo volumetrico utilizzando un recipiente appositamente tarato, e la temperatura è stata controllata mediante uno strumento portatile con sensore, eseguendo tre misure dalle quali è stato ottenuto il loro valore medio.

Risultati

I complessi idrogeologici

Nelle aree in esame si riconoscono cinque complessi idrogeologici: il Complesso detritico, il Complesso del travertino, il Complesso delle lave, il Complesso delle argille, il Complesso del Flysch (Fig. 3 e 4).

Il Complesso detritico, che comprende le coltri detritiche, è caratterizzato da permeabilità relativa medio alta per porosità con Coefficiente di Infiltrazione Potenziale (C.I.P.; Celico, 1988; Civita, 2005) = 0,80.

Il Complesso del travertino comprende corpi con geometria molto limitata, che mostrano una permeabilità relativa medio alta per porosità e fratturazione e C.I.P. = 0,5.

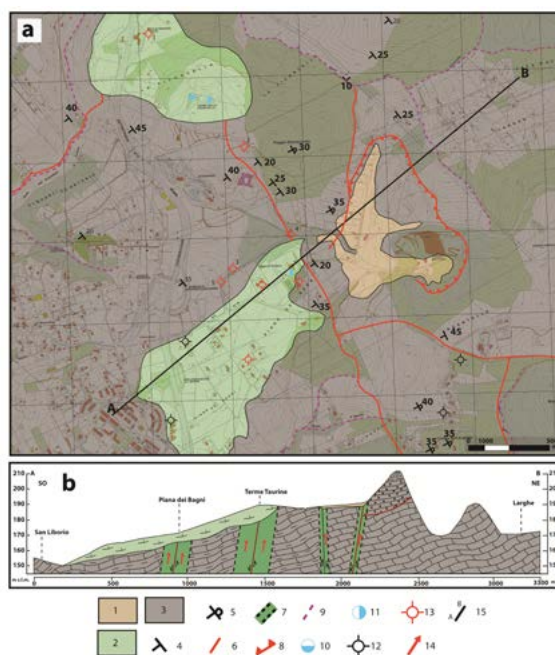


Figura 3 – Carta (a) e sezione (b) idrogeologica dell'area di Civitavecchia. 1, Complesso detritico: depositi eterometrici sciolti (detrito) in matrice limoso argillosa, sabbie limoso argillose (deposito eluviale e colluviale) con permeabilità relativa medio alta per porosità e Coefficiente di Infiltrazione Potenziale 0,80 (Olocene); 2, Complesso del travertino con permeabilità relativa medio alta per porosità e fratturazione, e Coefficiente di Infiltrazione Potenziale 0,5 (Olocene); 3, Complesso del Flysch con permeabilità relativa per fratturazione da molto bassa a nulla, e Coefficiente di Infiltrazione Potenziale < 0,5 (Cretacico superiore - Eocene); 4, giacitura degli strati; 5, strato rovesciato; 6, faglia diretta; 7, fascia cataclastica con permeabilità relativa elevata; 8, contatto di sovrapposizione tettonica; 9, torrente; 10, sorgente termale; 11, sorgente termale estinta; 12 pozzo; 13, pozzo termale; 14, risalita dei fluidi idrotermali; 15, traccia della sezione. Da Chiocchini & Savarese (2022) modificato.

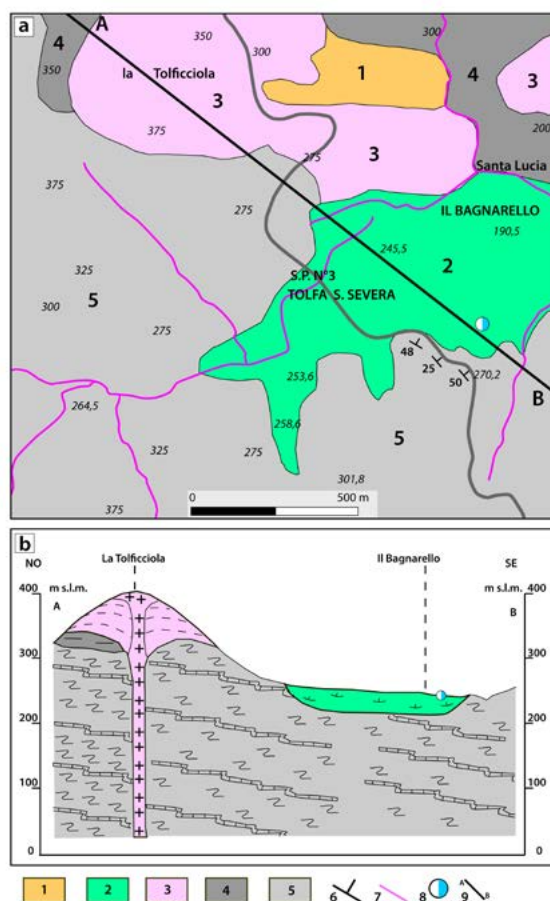


Figura 4 – Carta (a) e sezione (b) idrogeologica dell'area di Tolfa. 1, Complesso detritico: depositi detritici eterometrici sciolti (detrito) in matrice limoso argillosa, sabbie limoso argillose (deposito eluvio colluviale) con permeabilità relativa medio alta per porosità e Coefficiente di Infiltrazione Potenziale 0,80 (Olocene); 2, Complesso del travertino con permeabilità relativa media per porosità e fratturazione e Coefficiente di Infiltrazione Potenziale 0,5 (Olocene); 3, Complesso delle lave con permeabilità relativa per fessurazione e fratturazione da medio alta a bassa e Coefficiente di Infiltrazione Potenziale 0,65 (Pliocene superiore – Pleistocene inferiore); 4, Complesso delle argille con permeabilità relativa da bassissima a nulla e Coefficiente di Infiltrazione Potenziale 0,15 (Pliocene inferiore); 5, Complesso del Flysch con permeabilità relativa per fratturazione da molto bassa a nulla, e coefficiente di infiltrazione potenziale < 0,5 (Cretacico superiore - Eocene); 6, giacitura degli strati; 7, torrente; 8, sorgente termale; 9, traccia della sezione.

bassissimo a nullo con CIP = 0,15 (Celico, 1988; Civita, 2005). Il Complesso del Flysch, che comprende il Flysch della Tolfa e la Pietraforte, ha una permeabilità relativa per fratturazione molto bassa o nulla (Boni et al., 1986; Chiocchini et al. 1996; Piscopo et al., 2006) e da un altrettanto molto basso valore del C.I.P. < 0,5, tranne lungo le fasce cataclastiche delle faglie dirette, dove la permeabilità relativa è elevata (Caine et al., 1996; Forster & Smith, 1988 a, b; Lopez & Smith, 1995; Grasby & Hutchinson, 2001; Li et al., 2007; Underschlutz et al., 2018). Pertanto, la potenzialità acquifera del Complesso del Flysch è bassissima.

Le acque termali solfato bicarbonato alcalino terrose contenenti CO₂ e H₂S (Camponeschi & Nolasco, 1978; Pagano, 1999; 2001; Tor Vergata - Università degli Studi di Roma, 2020), comprese nella concessione mineraria “Terme di Traiano”, che emergevano nelle sorgenti Ficoncella, Sferacavallo, e Bagni di Traiano (Fig. 3) allineate secondo la direttrice della faglia orientata NO-SE nell'area di Civitavecchia, come riconosciuto da Ventriglia (1988) e Capelli et al. (2012 a; 2012 b), si sono estinte a seguito della perforazione dei pozzi per la costruzione della struttura termale di Civitavecchia, mentre emergono nella sorgente il Bagnarello nell'area di Tolfa (Fig. 4).

Il modello idrogeologico concettuale dei fluidi idrotermali

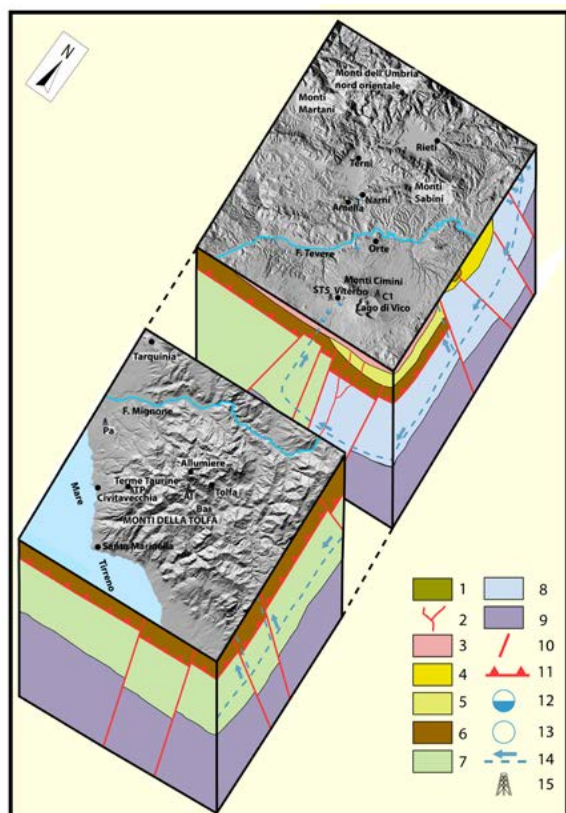
La circolazione dei fluidi idrotermali nelle due aree di studio, oggetto di ricerche sistematiche da parte dell'Enel, è connessa a quella delle acque sotterranee dell'acquifero carbonatico della Successione Umbro Marchigiana che ospita l'area di ricarica dell'Appennino centrale nell'area di Amelia e Narni, nei Monti Martani, nei monti dell'Umbria nordorientale, e nei Monti Sabini, come illustrato nel modello idrogeologico concettuale 3D della Figura 5.

Le quote dell'area di ricarica, in gran parte situate mediamente a circa 1200 m s.l.m. (Frondini et al., 2012), sono

Il primo fattore non consente un accumulo significativo di acqua sotterranea.

Il Complesso delle lave, costituito dall'Unità di Allumiere, è caratterizzato da un grado di permeabilità relativa per fessurazione e fratturazione variabile in generale da medio alto a basso e da zona a zona. Infatti, la disomogenea distribuzione delle fessure e fratture suddivide l'ammasso roccioso di questo complesso in compartimenti con un grado di permeabilità relativa medio alto sovrapposti e/o contigui a quelli caratterizzati da un grado di permeabilità relativa basso, separati tramite un *limite di permeabilità indefinito* (Civita, 2005; Chiocchini et al., 2023). Pertanto, la conseguente anisotropia idraulica dell'intero ammasso roccioso suggerisce che il CIP di questo complesso è mediamente 0,65 (Celico, 1988; Civita, 2005).

Il Complesso delle argille, composto dall'Unità del Fosso di San Savino, mostra un grado di permeabilità relativa da



coerenti con i valori del rapporto isotopico $\delta^2\text{H}/\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ dell'acqua termale dell'area di Viterbo (Piscopo et al., 2006). L'elevato valore del gradiente topografico tra l'area di ricarica a 1200 m s.l.m. dell'Appennino centrale e le aree delle sorgenti termali di Viterbo, a quote tra 320 m e 240 m s.l.m., e dei Monti della Tolfa, a quote tra 192,7 m e 235 m s.l.m., si riflette in un rilevante carico idraulico delle acque sotterranee della Successione Umbro Marchigiana, che costituisce la forza necessaria per far defluire le acque sotterranee verso le zone di emergenza delle sorgenti termali. Le acque sotterranee dell'acquifero carbonatico della Successione Umbro Marchigiana formano un enorme circuito, il cui percorso verso ovest emerge nella valle del F. Nera vicino a Narni (Fig. 5) formando la sorgente lineare di Stifone – Montoro a quota 75-65 m s.l.m. con composizione solfato clorurato alcalina, rapporto isotopico $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0,70816 identico a quello dell'acqua termale di Viterbo (Chiocchini et al., 2010; Chiocchini & Savarese, 2019; 2020), portata di 13,5 m³/s e temperatura di 15°-18°C (Boni et al., 1986; Chiocchini et al., 1987, 1995; Chiocchini & Pignotti, 2003; Frondini et al., 2012). Le acque di questo

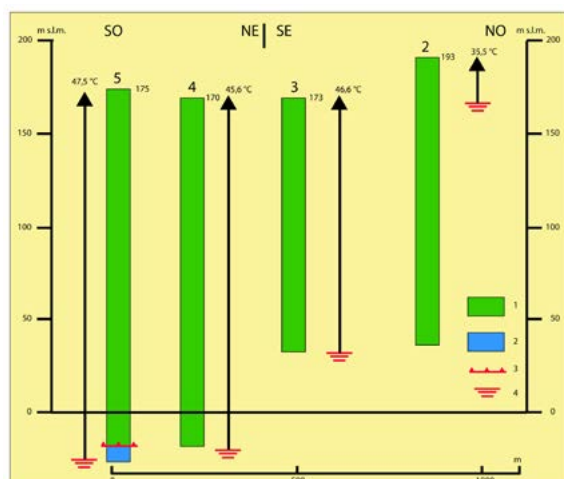
Figura 5 – Il modello idrogeologico concettuale 3D illustra le aree geotermiche di Viterbo (stereogramma in alto) e dei Monti della Tolfa (stereogramma in basso), l'area di ricarica dell'Appennino centrale, che comprende i monti di Amelia e Narni, i Monti Sabini, i Monti Martani e i monti dell'Umbria nordorientale con i loro complessi idrogeologici (simboli 1 - 9) e il circuito che alimenta il sistema idrotermale (linea tratteggiata e freccia in blu). 1, sedimenti alluvionali (acquifero superficiale; Quaternario); 2, intrusioni di magma dei distretti Cimino e Vicano (Pleistocene); 3, rocce vulcaniche dei distretti Cimino e Vicano (acquifero vulcanico); 4, argille (complesso impermeabile), sabbie e ghiaie (acquifero superficiale) (Pleistocene); 5, argille (complesso impermeabile; Pliocene inferiore); 6, Flysch della Tolfa (complesso impermeabile; Cretacico superiore - Eocene); 7, Unità Tettonica della Falda Toscana (acquifero carbonatico; Triassico superiore - Paleogene); 8, Successione Umbro Marchigiana (acquifero carbonatico; Triassico superiore - Paleogene); 9, substrato quarzítico filladico (complesso impermeabile; Permiano); 10, faglia diretta; 11, contatto di sovrapposizione tettonica; 12, sorgente di acqua termale; 13, sorgenti del fiume Nera; 14, circuito delle acque sotterranee; 15, pozzi: ST5, Società Terni; Pa, Pantani 1; Al, Allumiere 1; Ba, Bagnaccio 1, Enel; TP, Terme dei Papi.

circuito continuano a defluire verso la valle del F. Tevere, iniziano a riscaldarsi, emergono ad Orte in una sorgente con temperatura 30°C, proseguono verso i Monti Cimini e la zona di Viterbo subendo un ulteriore riscaldamento dovuto al vulcanismo della Provincia Magmatica Toscana, penetrano nell'acquifero carbonatico, che comprende la Successione Umbro Marchigiana e l'Unità Tettonica della Falda Toscana (Fig. 5) ed è confinato tra i complessi idrogeologici impermeabili delle rocce quarzíticas e filladiche permiane alla base e quelli del Pliocene inferiore e del Flysch del Cretacico-Eocene a tetto, ed emergono di nuovo formando le sorgenti termali di Viterbo con temperatura fino a 55°C (Chiocchini et al., 2010; Chiocchini & Manna, 2015; Chiocchini & Savarese, 2019; 2020). Successivamente, i fluidi idrotermali continuano a defluire verso ovest nell'area dei Monti della Tolfa, dove si riscaldano nell'acquifero dell'Unità Tettonica della Falda Toscana (Fig. 5) ad opera del vulcanismo della Provincia Magmatica Toscana, e affiorano in superficie con temperatura fino a 56°C. Pertanto, nelle aree dei Monti Cimini – Viterbo e dei Monti della Tolfa l'acquifero carbonatico dell'Unità Tettonica della Falda Toscana ospita sistemi idrotermali con acque solfato bicarbonato alcalino terrose, vapore e gas (principalmente CO₂ e H₂S), che defluiscono verso l'alto a causa dell'elevata pressione interna nell'acquifero carbonatico, e dell'alta temperatura dell'acquifero carbonatico che favorisce l'espansione termica dell'acqua, la cui azione è fondamentale per la dinamica dei sistemi idrotermali. Il pennacchio dei fluidi idrotermali, comprendenti acqua riscaldata e dilatata con bassa densità, vapore e gas, risale penetrando nelle fasce cataclastiche permeabili dei sistemi di fratture e faglie orientate NO-SE, SO-NE e N-S (Fig. 3). Come evidenziato da Caine et al. (1996), Forster

& Smith (1988 a; 1988 b), Lopez & Smith (1995), Li et al. (2007), Underschultz et al. (2018), le fratture e le faglie e l'elevata permeabilità lungo le zone fratturate e fagliate costituiscono gli elementi fondamentali ed i fattori principali per determinare il deflusso delle acque sotterranee, la profondità di circolazione dei fluidi idrotermali e la loro conseguente temperatura, e lo sviluppo dei sistemi idrotermali. Di conseguenza, le sorgenti termali sono frequentemente allineate lungo le faglie, come si osserva per quelle delle aree di Tolfa e Civitavecchia.

I dati dei pozzi perforati da Enel per ricerca sulla risorsa geotermica nell'area dei Monti Cimini indicano quanto di seguito riportato (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, già Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato, 2020; Fig. 7 e 8 in Chiocchini, 2024). Nel pozzo Pantani 1 (1961) a quota 32 m s.l.m. è stato riconosciuto un *serbatoio provato di tipo confinato* da 306 a 307 m, con permeabilità secondaria e profilo statico di temperatura 36°C a 80 m, 33°C a 95 m, 40°C a 251 m. Il pozzo ha prodotto acqua termale a 306 – 307 m con temperatura 51°C a bocca pozzo e portata 400 m³/h (0,12 L/s). Per il pozzo Allumiere 1 (1962) a quota 435 m s.l.m. è indicato un *serbatoio potenziale di tipo confinato* da 630 a 938 m, con permeabilità secondaria e profilo statico di temperatura 36°C a 730 m, 37°C a 830 m, 39°C a 930 m. Per il pozzo Bagnarello 1 (1962) a quota 305 m s.l.m. è indicato un *serbatoio potenziale di tipo confinato* da 700 a 860 m, con permeabilità secondaria e profilo statico di temperatura 48°C a 592 m, 50°C a 796 m, 60°C a 859 m.

La risorsa geotermica della zona di Civitavecchia



Le perforazioni di quattro pozzi (numeri 2, 3, 4, 5; Fig. 6) eseguite per la costruzione della struttura termale di Civitavecchia hanno causato la cancellazione delle sorgenti termali appresso descritte.

1. *Ficoncella* a quota 192,7 m s.l.m. *Portata iniziale valutabile*[2] 0,2 L/s e temperatura 46° - 49,5°C secondo Camponeschi & Nolasco (1978). Yuhara & Ribacchi (1963) indicano due venute principali: la prima con *portata stimata* 1,6 L/s e temperatura 55°C; la seconda con portata stimata 0,33 L/s e temperatura 49,5°C.
2. *Sferracavallo* a quota 191 m s.l.m. *Portata stimata* 2 L/s (Camponeschi & Nolasco, 1978).

Serie storica delle temperature (Camponeschi & Nolasco, 1978):

Yervis (1868)	50°C
Cannizzaro (1882)	56°C
Tioli (1894)	55°C
Feliciani (1905)	55°C
Vinaj-Pinali (1923)	56°C
Piccinini (1924)	56°C
C.N.R. (1933)	56°C
Conforto (1947)	55°C
Camponeschi (1969)	56°C
Baldi (1972)	56°C
Camponeschi & Nolasco (1977)	56°C

Analisi chimico fisiche

Secondo Baldi et al. (1974): temperatura 56°C; pH 6,5; salinità totale 2,452 g/l; CO₂ 355; H₂S tracce; residuo fisso a 180° 2,5304 g/l. Acqua solfato bicarbonato alcalino terrosa ipertermale.

Gonfiantini et al. (1968) hanno determinato la composizione isotopica della CO₂, dell'acqua e dei travertini, la cui deposizione non avviene nel punto di equilibrio isotopico.

3. *Bagni di Traiano* a quota 191,6 m s.l.m. *Portata valutabile* in 0,5 L/s e temperatura 55°C secondo Camponeschi & Nolasco (1978). Yuhara & Ribacchi (1963) indicano due venute principali: la prima con *portata stimata* in 0,83 L/s e temperatura 45°C; la seconda con portata stimata in 0,5 L/s e temperatura 40°C.

2 Una portata "valutabile" o "stimata" non è precisa, quindi ha un valore non attendibile.

Figura 6 – Stratigrafia dei pozzi perforati per la captazione di acqua termale relativa alla struttura termale di Civitavecchia. 1, Flysch della Tolfa: Membro del Fosso dell'Anitrella (Eocene); 2, Calcare selcifero di Limano (Giurassico inferiore); 3, contatto di sovrapposizione tettonica; 4, livello piezometrico dell'acqua termale.

Serie storica delle temperature (Camponeschi & Nolasco, 1978):

Yervis (1868)	32°C
Alessandri (1882)	56°C
Mariani (1870)	55°C
Tioli (1894)	55°C
Feliciani (1905)	38°C
Vinaj-Pinali (1923)	42,5°C
Conforto (1947)	55°C
AGIP (1953)	55°C
Di Noi (1956)	49°C
Yuhara & Ribacchi (1962)	45,5°C
Camponeschi (1969)	49°C
Baldi & Ferrara (1974)	48°C
Camponeschi & Nolasco (1977)	45°C

Analisi chimico fisiche

Secondo Baldi et al. (1974): temperatura 48°C; pH 7; salinità totale 2,452 g/l; CO₂ 114. Acqua solfato bicarbonato alcalino terrosa ipertermale.

Pozzi perforati per le Opere di Captazione e Distribuzione delle Acque Termali (Pagano et al., 2001)

Si evidenzia che le coordinate dei pozzi non sono indicate. Inoltre, la necessaria revisione della stratigrafia dei pozzi 2, 3, 4, 5 (Fig. 6) ha dimostrato, come già evidenziato nella Introduzione, che il “*flysch calcareo*”, il “*flysch argilloso calcareo*”, e il “*flysch argilloso*” sono distribuiti in successione tale da risultare non correlabili. Pertanto, in accordo con la geologia di superficie, le successioni definite erroneamente con i suddetti termini sono state attribuite al Membro di Poggio Vivo (FYT₁) del Flysch della Tolfa (Fig. 6), e il livello più basso di natura calcarea del pozzo 5 è riferito al Calcare selcifero dell’Unità Tettonica della Falda Toscana, perché questa formazione è stata individuata nel pozzo Terme dei Papi, a quota 39 m s.l.m. (Fig. 6), ubicato 400 m a est del pozzo 5. Questi dati confermano che il Flysch della Tolfa del pozzo 5 è sovrapposto mediante contatto tettonico al Calcare selcifero dell’Unità Tettonica della Falda Toscana, il cui tetto è ubicato a quota – 42 m.

Pozzo 1. Coordinate DMS: 42°07’21,92” N – 11°49’31,33” E. Quota 116 m s.l.m. Inizio dei lavori 3 giugno 2001. Termine lavori 26 giugno 2001. Questo pozzo, profondo 95 m, aveva “lo scopo di intercettare un primo acquifero presumibilmente freatico, comunque ipotermale, rappresentato dalle coperture travertinose e dagli orizzonti calcarei nell’ambito del flysch argilloso”. A seguito del “modesto risultato ottenuto” è stato perforato il pozzo 1 bis, profondo 18 m,

accanto al pozzo 1 con la successione stratigrafica sintetizzata e descritta con alcuni termini impropri come “*ciottolame di travertino*”, “*ciottolame in matrice argillosa grigio chiara*”. Il 27 novembre 2001 nel pozzo 1 è stata misurata con eiettore la portata di 10 L/minuto (0,16 L/s). Una ulteriore prova di portata con elettropompa sommersa eseguita il 30 novembre nel pozzo 1 bis ha fornito 0,5 L/s.

Pozzo 2. Coordinate DMS: 42°06’59,68” N – 11°49’56,78” E. Quota 193 m s.l.m. Inizio dei lavori 20 marzo 2001. Termine lavori 27 aprile 2001. Successione stratigrafica: da 0 a 39 m *flysch calcareo*; da 39 a 44 m *flysch argilloso calcareo*; da 44 m a 56 m *flysch calcareo*; da 56 a 116 m *flysch argilloso*, da 116 a 151,3 m *flysch calcareo*. Dal 20 marzo al 27 aprile 2001 portata per aggettamento circa 2 L/s e temperatura a bocca pozzo 35,5°C.

Pozzo 3. Coordinate DMS: 42°06’36,61” N – 11°49’58,89” E. Quota 173 m s.l.m. Inizio dei lavori 12 gennaio 2001. Termine lavori 8 febbraio 2001. Successione stratigrafica: da 0 a 52 m *flysch calcareo*; da 52 a 55 m *flysch argilloso calcareo*; da 55 m a 63 m *flysch calcareo*; da 63 a 128 m *flysch argilloso calcareo*; da 128 a 138,8 m *flysch calcareo*. Il giorno 8 febbraio 2001 il pozzo è stato soggetto ad eruzione con portata stimata di circa 50 – 60 L/s alla profondità di 138,8 m. In coincidenza con la massima fase di eruzione (8 – 11 febbraio) la sorgente Ficoncella ha manifestato diminuzione di portata da 1 L/s a 0,6 L/s e 0,5 L/s il 10 febbraio. Dal 12 febbraio la portata della sorgente è aumentata, mentre il pozzo 3 era in erogazione spontanea con portata 2 – 3 L/s. Tra 8 febbraio e 12 aprile i pozzi 5 e 3 hanno erogato contemporaneamente una *portata complessiva stimata* di 8 L/s senza problemi di interferenza con la sorgente Ficoncella.

Pozzo 4. Coordinate DMS: 42°06’41” N – 11°50’07” E. Quota 170 m s.l.m. Inizio dei lavori 8 febbraio 2001. Termine lavori 12 aprile 2001. Successione stratigrafica: da 0 a 53,8 m *flysch calcareo*; da 53,8 a 74,7 m *flysch argilloso calcareo*; da 74,7 m a 188,3 m *flysch calcareo*. Dal 8 febbraio al 12 aprile 2001 portata spontanea 1,8 L/s e temperatura a bocca pozzo 45,6°C.

Pozzo 5. Coordinate DMS: 42°06’32,62” N – 11°49’50,24” E. Quota 175 m s.l.m. Inizio dei lavori 28 ottobre 2000. Termine lavori 17 dicembre 2000. Successione stratigrafica: da 0 a 128 m *flysch argilloso* e *flysch argilloso calcareo*; da 128 a 158 m *flysch calcareo*; da 158 m a 192 m *flysch argilloso*; da 192 a 200,8 m *flysch calcareo*. Dal 26 ottobre al 17 dicembre 2000 la portata spontanea è 5 L/s; la temperatura a bocca pozzo 47,5°C.

La portata spontanea complessiva minima dell’acqua

ipertermale dei pozzi 3, 4, 5 è 7 – 9 L/s, mentre per l'acqua meso e/o ipotermale del pozzo 1 è 0,5 L/s, del pozzo 2 è 1-2 L/s. La portata complessiva di tutti i pozzi è circa 10 – 11 L/s, cioè l'obiettivo minimo di progetto.

Pagano et al. (2001) precisano che la perforazione dei pozzi 2, 3, 4, 5 “ha determinato nel **primo acquifero confinato** nel quale circolano i fluidi termali risaliti dal serbatoio carbonatico, modificazioni della superficie piezometrica nel settore sud della Concessione mineraria..... come accadrebbe per qualunque altro pozzo che fosse perforato nei dintorni”. Si tratta, quindi, della riconosciuta consapevolezza degli Autori circa questa delicata condizione idrogeologica. Questi Autori specificano, poi, che “le pompe installate nei pozzi dovranno prevedere il mantenimento del livello dinamico alle rispettive bocche pozzo” e che “il pozzo 5, sia per l'ubicazione nel Bacino (termale) e rispetto alla sorgente Ficoncella, sia per apparente (sic!) influenza su di quella, sia per caratteristiche idrauliche del pozzo che fisico chimiche delle acque, appare il più idoneo ad uno sfruttamento su livelli di portata nell'ordine della decina di L/s”. Per quanto riguarda la sorgente Ficoncella gli Autori, dopo aver riconosciuto che “il pozzo 3 ha comportato problemi di interferenza con la sorgente”, e affermato che “abbassamenti della portata sono facilmente osservabili, in questo periodo, sulla gran parte delle sorgenti termali dell'Italia centrale”, sostengono che “va onestamente ribadito che a tutt'oggi, sulla base della sperimentazione effettuata, non è possibile stabilire una correlazione certa, sperimentalmente comprovata, tra l'erogazione dei pozzi perforati per conto del Comune di Civitavecchia, nella fattispecie i n. 3, 4, 5 di progetto e le riduzioni di portata alla sorgente Ficoncella”. Successivamente, gli Autori affermano che “il progetto di captazione delle acque termali ha previsto la possibilità di interferenza, da verificare comunque nei tempi lunghi” (sic!), e illustrano una complicata serie di proposte, di cui “la più efficace e duratura è l'adduzione verso le vasche della sorgente di una certa quantità di acqua termale da prelevare ai serbatoi ubicati sul Poggio

Sferracavallo”. Al riguardo gli Autori sottolineano, con un ragionamento capzioso, che “una operazione di questo tipo è destinata, e non sembra poca cosa, a non turbare l'assetto idrogeologico del sistema termale locale, consentendo di alimentare la Ficoncella senza eccessivi sacrifici per il costruendo stabilimento, il cui sviluppo sarebbe comunque vincolato al mantenimento di un faticoso, quanto complesso equilibrio idrogeologico”. Queste sconcertanti inattendibili affermazioni saranno nettamente smentite dalla Relazione del Direttore della Miniera nel 2017, come sarà illustrato successivamente. Infine, si prevede un “*intervento a medio termine*” mediante la perforazione di un pozzo profondo circa 130 – 170 m nei pressi della sorgente al fine di configurare una vera e propria captazione della sorgente in profondità”.

Analisi chimiche

Acque solfato alcalino terrose. La salinità totale (TDS) misurata in campo mostra valori di 1900 – 2100 mg/l. Si precisa che le determinazioni di CO₂, grado solfidimetrico e bicarbonati devono essere eseguite sul campo allo scopo di evitare le perdite di gas, il raffreddamento e la formazione di precipitati.

La Tabella 1 mostra i risultati della analisi isotopiche per la concentrazione di O¹⁸, Deuterio, e Tritio delle acque termali della sorgente Ficoncella e dei pozzi 3, 4, 5, eseguite presso il Laboratorio dell'Istituto Internazionale di Geotermia del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Pisa.

La considerazione sulla quota isotopica dell'area di ricarica dell'acquifero termale compresa tra 380 m e 260 m s.l.m., e coincidente “sostanzialmente” con quanto calcolato per la sorgente Ficoncella, in realtà non è corretta perché per la suddetta sorgente è stata calcolata una quota tra 300 e 500 m s.l.m. Al riguardo si evidenzia che l'area di ricarica dell'acquifero carbonatico dell'Unità Tettonica della Falda Toscana non coincide con la copertura vulcanica dei Monti della Tolfa di Pagano et al. (1999), ma è ubicata nell'Appennino centrale (area di Amelia e Narni, Monti Martani, monti

Sorgenti e pozzi	$\delta\text{O}^{18}\text{‰}$	$\delta\text{ Deuterio}\text{‰}$	Unità di Tritio
Sorgente Ficoncella	- 6,49 +/-0,1	- 36,2 +/-1	0,5 +/-0,5
Pozzo 3	- 6,53 +/-0,1	- 37,9 +/-1	0,0 +/-0,4
Pozzo 4	- 6,47 +/-0,1	- 38 +/-1	0,0 +/-0,4
Pozzo 5	- 6,47 +/-0,1	-36,9 +/-1	0,4 +/-0,4

Tabella 1 – Concentrazione di O¹⁸, Deuterio, e Tritio delle acque termali. Da Pagano (2001).

Pozzi	Temperatura °C	Portata spontanea L/s	Portata da pompaggio L/s
Pozzo 5	47,5	6,4	
Pozzo 3	46,2	2,1	
Pozzo 4	42,2	0,5	
Pozzo 2	36		3

Tabella 2 – Temperatura, portata spontanea dei pozzi 3, 4, 5, e portata da pompaggio del pozzo 2. Da Pagano (2001).

dell'Umbria nordorientale, Monti Sabini; Fig. 5), come ampiamente documentato dalle ricerche di Chiocchini et al. (2010; 2022; 2023), Chiocchini & Manna (2015), Chiocchini & Savarese (2019, 2020). Per quanto riguarda l'uso degli isotopi, si deve ricordare che, oltre ai valori del Tritio, sarebbero stati utili quelli dei radionuclidi dei gas nobili ^{39}Ar , ^{81}Kr e ^{85}Kr (Yokochi et al., 2013 e relativi riferimenti bibliografici), che forniscono precise informazioni sui tempi di permanenza dei fluidi termali nel sottosuolo.

Nella Tabella 2 sono riportate le misure della temperatura e della portata spontanea dei pozzi 3, 4, 5, e della portata da pompaggio del pozzo 2, eseguite il 29 novembre 2001. Nello stesso giorno alle 12,05 la temperatura della sorgente Ficoncella era 55,2°C, e 52,2°C al pozzetto di ripartizione nei pressi della prima vasca. La portata è stata stimata in circa 1 L/s. Circa questa modalità di valutare la portata di una sorgente si rimanda si rimanda alla nota 2.

La portata spontanea complessiva dei pozzi 3, 4, 5 è 9,0 L/s, simile a quella misurata in precedenza (7-9 L/s).

Durante le operazioni di collaudo sono state eseguite prove di portata nei pozzi 2, 3, 4, 5 fra le ore 11 e 15,40 mediante un recipiente tarato e cronometro, e con durata singola di circa tre ore.

Pozzo 2. Inizio ore 13,02 con portata 1,8 L/s; ore 13,15 con portata 3 L/s; termine ore 16,30 con portata 3 L/s e temperatura 36°C.

Pozzo 3. Inizio ore 11 con portata 0,75 L/s; ore 11,50 con portata 2 L/s; termine ore 15 con portata 2,12 L/s e temperatura 44°C.

Pozzo 4. Inizio ore 12,14 con portata 0,22 L/s; ore 12,34 con portata 1,8 L/s; ore 13,25 con portata 2,19 L/s; termine ore 15,10 con portata 2,19 L/s e temperatura 44°C.

Pozzo 5. Inizio ore 13,27 con portata 6,01 L/s; ore 13,12 con portata 9,2 L/s; termine ore 15,40 con portata 9,2 L/s e temperatura 44°C.

Il pozzo Terme dei Papi

L'ubicazione di questo pozzo, perforato nel 2019, è riportata nella figura 3, la stratigrafia in figura 3 di Chiocchini et al. (2022). Coordinate DMS: 42°07'63,34" N - 11°49'36,88" E. Sono stati riconosciuti quattro livelli di acqua termale

alla profondità di 70 m (quota 140 m s.l.m.), 125 m (quota 86 m s.l.m.), 150 m (quota 56 m s.l.m.), 200 m (quota 39 m s.l.m.). L'acqua termale è risalita fino alla profondità di 27 m (quota 182 m s.l.m.) e la prova di emungimento ha prodotto la portata di 38 L/s.

Analisi chimico - fisiche (Tor Vergata - Università degli Studi di Roma, 2020)

T aria 11°C; T acqua 43°C; pH 6,7

Conducibilità elettrica specifica a 20°C 2700 µs/cm

Residuo fisso a 180° 2398,6 mg/l

Ossidabilità 1,3 mg/l O₂

Anidride carbonica libera alla sorgente 460 mg/l CO₂

Alcalinità totale = 112 ml HCl 0,1 N/l

Grado solfidimetrico 11 mg/l H₂S

Acqua ricca di minerali, ipertermale, sulfurea, con carbonato, solfata, calcica, magnesiacca, fluorata, e acidula. Acqua termale batteriologicamente pura.

Circa lo stato della sorgente Ficoncella e dei pozzi si fa riferimento a quanto descritto nella Relazione del Direttore della Miniera per il periodo 2017 - 2023. La Relazione di agosto 2017 (fine del mandato) e dicembre 2018 (fine del mandato) puntualizza preliminarmente:

“Nell'ambito dell'area della concessione termale sono presenti n° 3 sorgenti storiche (Ficoncella, Bagni di Traiano, e Cannetaccio), le quali trovano ampio riscontro sulle pubblicazioni tecnico scientifiche di idrogeologia e che si interessano di termalismo. Attualmente non più produttive e sono tutte praticamente sterili. In pratica la perforazione dei cinque pozzi eseguiti tra il 1999 e il 2001 ha portato ad un decadimento della portata fino all'azzeramento. Ciò si è manifestato espressamente alla sorgente Ficoncella, dopo dieci mesi dalla conclusione della perforazione dei pozzi, si rilevava una portata di ca. circa 0,35 L/s con tendenza all'azzeramento. Dopo tale evento, al fine di garantire la fruibilità da parte di numerosi avventori, è in atto un rilancio idraulico mediante una perforazione (progettata e diretta dallo scrivente nel 2002) nella grotta/scaturigine che assicura il fabbisogno prossimo ai 2 L/s”. Questo

indiscutibile dato di fatto è in netto contrasto con Pagano et al. (2001), i quali, invece, sostengono che *“non è possibile stabilire una correlazione certa, sperimentalmente comprovata, tra l'erogazione dei pozzi perforati n. 3, 4, 5 e le riduzioni di portata alla sorgente Ficoncella”*.

Per quanto riguarda lo stato di fatto dei pozzi si evidenzia quanto di seguito riportato. (i) Il loro pessimo stato di conservazione. (ii) La necessità di importanti operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria, in particolare per le perdite di acqua dei pozzi n. 4 e n. 3; quelle di quest'ultimo *“sono state intercettate spontaneamente da avventori che ne usufruiscono in pozze campestri”*. (iii) L'impossibilità di usare gli impianti tecnologici consente solo di *stimare* che la portata spontanea dei pozzi è 5 – 6 L/s per il pozzo n. 5, 1,5 L/s per il pozzo n. 3, e 0,7 L/s per il pozzo n. 4. (iv) I pozzi n. 1 e 2 non influiscono sulla futura gestione termale del contesto.

La Relazione del Direttore della Miniera di giugno 2020 conferma quanto descritto nelle Relazioni del 2017 e 2018. In particolare, per la sorgente Ficoncella si ribadisce che *“il fabbisogno termale è garantito da oltre quindici anni da una perforazione che ha raggiunto – 30 m..... attualmente avviene un costante emungimento con portata 2 L/s”*. La sorgente Bagni di Traiano *“è ormai asciutta”*, mentre la sorgente Cannelaccio *“intercetta le perdite delle acque della Ficoncella, le quali re-infiltrandosi riemergono a giorno in questo settore”*. In pratica, la Relazione ribadisce la morte delle sorgenti. Inoltre, le tre relazioni del periodo 2017 – 2020 confermano lo stato di grave degrado degli impianti tecnologici e dell'area dei pozzi, dovuto anche alla costante presenza di rifiuti.

Nel Report Direzione di Miniera di dicembre 2020 è descritta la ricognizione della miniera *“Terme di Traiano”* e la sorgente storica Ficoncella. Circa i cinque pozzi perforati per la ricerca di acque termali, si osserva che la loro stratigrafia e lo schema idrogeologico della zona dei pozzi sono ripresi acriticamente da Pagano et al. (2001), utilizzando l'inaccettabile definizione della litologia del carotaggio mediante i termini *“flysch calcareo”*, *“flysch argilloso calcareo”*, *“flysch argilloso”*, *“ciottolame di travertino”*, cui consegue la chiarissima impossibilità di correlare le stratigrafie dei pozzi n. 2, n. 3, n. 4, n. 5 descritte con i suddetti termini. Inoltre, si afferma che la sorgente Ficoncella *“risulta posta all'interno di una grotta naturale, al cui piano di calpestio è presente una perforazione priva di alcun tipo di rivestimento, nella quale è stata messa in opera una pompa che va ad alimentare le vasche pubbliche...e la perforazione risulta profonda circa 30 metri”*. Successivamente si specifica che

*“se la sorgente Ficoncella risenti rapidamente del fenomeno eruttivo, la stessa non mostrò risentimenti durante le fasi di pompaggio dei pozzi n. 4 e n. 5, come anche durante la realizzazione delle perforazioni stesse. Il calo rilevato il 18 luglio 2001 è invece connesso, secondo quanto documentato, ad una **possibile** (?) perforazione lungo l'allineamento strutturale Ficoncella-Bagni di Traiano sulla Piana dei Bagni. La portata del pozzo n. 4 subì un repentino abbassamento da 1,8-2 L/s a 0,3 L/s ed un analogo problema si rivelò alla Ficoncella, con un calo di circa il 40% della portata”*. Questa affermazione riprende quanto sostenuto da Pagano et al. (2001) con la aggiunta di una non documentata *“possibile perforazione”*, che è smentita da quanto affermato chiaramente nella Relazione del Direttore della Miniera del 2017 e 2018 sopra ricordate.

Il Report Direzione di Miniera di giugno 2021 indica per la sorgente Ficoncella la necessità di acquisire l'autorizzazione per lo scarico delle acque termali reflue, di una recinzione dell'area della sorgente, della messa in sicurezza dell'accesso alla grotta della sorgente, di alcuni interventi idraulici per la protezione e manutenzione della risorsa termale. Incolte, sono evidenziate le criticità già illustrate per i pozzi n. 2, n. 3, n. 4, e n. 5.

Nel Report Direzione della Miniera di settembre 2022 è descritto il monitoraggio della portata, misurata mediante contaltri digitale, del livello piezometrico, della temperatura, e della conducibilità elettrica dell'acqua per la sorgente Ficoncella, eseguito tra il 20 giugno e il 29 settembre 2022. Emergono valori abbastanza omogenei. In particolare la portata mostra valori compresi tra 1,65 L/s (20 giugno) e 1,61 L/s (29 settembre). Per quanto riguarda la portata di 2 L/s, che secondo la Relazione del Direttore della Miniera di giugno 2020 è stata misurata presumibilmente con un recipiente tarato, si ipotizza la possibilità di un *“certo grado di errore”* non precisato. Al riguardo si rileva che le misure di portata con un recipiente tarato, in particolare per sorgenti con portata molto bassa come quella in esame, eseguite tre volte e mediate hanno un valore più che attendibile, a fronte della *portata stimata* utilizzata da Pagano et al. (2001) per i pozzi 3 e 5, che, come già precisato, è totalmente inattendibile. Per quanto riguarda i pozzi si propone di ripristinare il pozzo 5, perché si verifica la risalita piezometrica oltre il piano di campagna e la temperatura dell'acqua è 47,5°C. Il Report Direzione della Miniera di settembre 2023 illustra il monitoraggio della portata, misurata mediante contaltri digitale, del livello piezometrico, della temperatura, e della conducibilità elettrica dell'acqua per la sorgente Ficoncella, eseguito tra il 9 marzo e il 29 settembre 2023. Si specifica



Figura 7 – Utilizzazione dell'acqua termale, derivata dalle perdite del pozzo n. 4, in una doccia nei pressi del pozzo.

che il livello freatico nel pozzo è monitorato affinché non scenda sotto 8 m dal piano campagna *“dato che la massima profondità del pozzo è pari a 10 m dal p.c.”* Al riguardo si evidenzia che questo dato non concorda con quello riportato nella Relazione del Direttore della Miniera di giugno 2020 e nel Report Direzione Miniera di dicembre 2020, in cui la profondità della perforazione è 30 m. Inoltre, la portata della sorgente Ficoncella è diminuita di 0,04 L/s nel periodo 20 giugno - 23 novembre 2022, e di 0,39 L/s nel periodo 2 maggio - 26 settembre 2023. Si ripropone di intervenire sul pozzo n. 5, perché continua la risalita di acqua termale oltre il piano di campagna, con temperatura 47,5°C.

Il necessario controllo dell'area della struttura termale di Civitavecchia e dei pozzi 2, 3, 4, 5, eseguito durante la presente ricerca, ha consentito di accertare quanto di seguito riportato. Un tubo collegato al pozzo 4 preleva acqua termale dalle perdite del pozzo per alimentare una improvvisata doccia campestre (Fig. 7). Sono stati rinnovati gli impianti tecnologici solo per il pozzo 5 (Fig. 8 a), mentre per gli altri pozzi questi impianti non sono più utilizzabili (Fig. 8 b) e l'edificio della struttura termale, non completato, risulta abbandonato (Fig. 9).

La risorsa geotermica della zona di Tolfa

Una sorgente di acqua termale emerge nella cava inattiva di travertino nella località Il Bagnarello al km 17 della Strada Provinciale 3 b Santa Severa - Tolfa (Fig. 10). Coordinate DMS: 42°07'50,42" N - 11°07'37,35" E. Quota 235 m s.l.m. Secondo Camponeschi & Nolasco (1978) la *portata valutabile* è 4 L/s, la temperatura compresa tra 47° e 49°C, e l'acqua termale attribuita alla categoria solfurea alcalina. Rilevamento del 6 maggio 2021: temperatura dell'aria = 21°C; temperatura dell'acqua = 46°C; portata = 1 L/1,63



Figura 8 – a. Il pozzo n. 5 completo di tutte le strutture idrauliche. b. Il pozzo n. 2 privo di tutte le strutture idrauliche.



Figura 9 – L'edificio della struttura termale di Civitavecchia non completato e abbandonato.



Figura 10 – La sorgente di acqua termale nella cava di travertino presso il Bagnarello (Tolfa).

secondi = 0,6 L/s.

Rilevamento del 24 maggio 2021: temperatura dell'aria = 22°C; temperatura dell'acqua = 45,5°C: portata = 1 L/1,62 secondi = 0,6 L/s.

Discussione e Conclusioni

Il modello idrogeologico concettuale 3D del sistema idrotermale dei Monti della Tolfa è costituito dall'acquifero carbonatico dell'Unità Tettonica della Falda Toscana, che è confinato tra i complessi idrogeologici impermeabili quarzítico filladico del Permiano alla base, e il Flysch della Tolfa del Cretacico superiore - Eocene e l'Unità del Fosso di San Savino del Pliocene inferiore a tetto, contiene fluidi idrotermali, che risalgono lungo le fasce cataclastiche permeabili delle faglie dirette, ed emergono poi in sorgenti e pozzi. Il circuito delle acque sotterranee che alimenta il sistema idrotermale è governato dall'elevato carico idraulico nell'area di ricarica ubicata nell'Appennino centrale, dalla pressione interna nell'acquifero carbonatico, e dalla pressione dei gas disciolti nell'acqua termale che concorrono al deflusso verso l'alto e all'emergenza in superficie. Le tracce di termo-metamorfismo in diverse zone di affioramento del Flysch della Tolfa e dell'Unità del Fosso di San Savino e il sollevamento di circa 200 m dei Monti della Tolfa suggeriscono che il circuito idrotermale ha iniziato la sua evoluzione nel Pliocene superiore, più o meno contemporaneamente alla messa in posto delle lave e dei domi dell'Unità di Allumiere (Lombardi et al., 1974; De Rita et al., 1997).

La disponibilità di acqua per ricaricare i sistemi idrotermali è correlata ai fluidi caldi e al flusso di calore (Harvey et al., 2015); poiché tale disponibilità è regolata dall'assetto stratigrafico e strutturale, dalla permeabilità, dalle precipitazioni e dalla topografia delle aree di ricarica, è necessario produrre una solida ricostruzione stratigrafica e strutturale per la credibilità di un modello idrogeologico concettuale. Questa condizione non appare rispettata nel caso in esame, perché il modello proposto da Pagano et al. (1999; 2001) risulta totalmente inattendibile.

Circa l'entità della portata delle sorgenti è necessario ricordare che si tratta di valori per lo più inferiori a 1 L/s e non riferiti a misure effettive. Nella zona di Tolfa la *portata misurata* della sorgente Il Bagnarello è 0,6 L/s, mentre nella zona di Civitavecchia per la sorgente Ficoncella si tratta di una *portata valutabile* in 0,2 L/s (Camponeschi & Nolasco, 1978), e in 0,33 e 1,6 L/s (Yuhara & Ribacchi, 1963), per la sorgente Sferracavallo di una *portata stimata* in 2 L/s (Camponeschi & Nolasco, 1978), per i Bagni di Traiano di

una *portata valutabile* in 0,5 L/s (Camponeschi & Nolasco, 1978), e 0,88 e 0,5 L/s (Yuhara & Ribacchi, 1963).

Inoltre, la portata spontanea complessiva minima dei pozzi 3, 4, 5 era 7-9 L/s nel periodo 17 dicembre 2000 - 30 novembre 2001 e 9,0 L/s il 29 novembre 2001. Le prove di emungimento e di portata nei pozzi 2, 3, 4, 5 eseguite il 29 novembre 2001, hanno fornito valori, a fine prova, di 2,19 L/s per il pozzo 3 e 9,2 L/s per il pozzo 5 (Pagano et al., 2001).

I dati sopra riportati, relativi sia alla *portata valutabile* e alla *portata stimata* delle sorgenti di acqua termale inferiori per lo più a 1 L/s, sia ai risultati delle perforazioni per ricerca di energia geotermica mediante i pozzi Pantani 1, che ha intercettato acqua termale con portata di 440 m³/h (0,12 L/s), Allumiere 1 e Bagnarello 1 non produttivi, suggeriscono che la quantità estraibile di fluidi idrotermali sarebbe stata modesta. Questa considerazione è riportata anche da Pagano et al. (1999), che indicano una potenzialità complessiva del "Bacino termale di Civitavecchia nell'ordine di dieci - quindici L/s", ma i valori della portata spontanea e di quella misurata nei pozzi 2, 3, 4, 5 sopra riportati hanno documentato una quantità inferiore (9 L/s) rispetto alla suddetta potenzialità complessiva (10 - 15 L/s).

In conclusione, lo stato dell'arte della risorsa geotermica delle zone di Civitavecchia e Tolfa indica che si deve prendere atto di quanto appresso riportato.

- La portata disponibile della risorsa geotermica costituita da acqua termale nella zona di Tolfa è 0,6 L/s e 9 L/s in quella di Civitavecchia.
- I risultati dell'indagine idrogeologica per la costruzione di una struttura termale nel territorio comunale di Civitavecchia hanno prodotto un modello idrogeologico concettuale inattendibile e fuorviante, e accertato la disponibilità di 9 L/s di acqua termale a fronte dei 10 -15 L/s ipotizzati. Si tratta di una bassa quantità di acqua termale per la gestione di una moderna struttura termale.
- La cancellazione delle sorgenti Ficoncella, Sferracavallo, Bagni di Traiano è connessa alla perforazione dei pozzi per la captazione dell'acqua termale. La sorgente Ficoncella è stata "riattivata" artificialmente mediante una perforazione.
- L'edificio della struttura termale non completato e abbandonato, la possibilità di usufruire solo del pozzo 5, perché le strutture idrauliche degli altri pozzi non sono più utilizzabili, e la costante presenza di rifiuti sono la testimonianza del sostanziale fallimento del progetto per una struttura termale nel territorio

comunale di Civitavecchia e di un diffuso degrado ambientale.

- Il negativo e desolante quadro complessivo dello stato di fatto dell'area, che comprende l'edificio della struttura termale e i pozzi, ha comportato un ingente ed inutile dispendio di denaro pubblico.

ORCID

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

Ringraziamenti

La ricerca è stata supportata dall'Associazione Nazionale per gli Interessi del Mezzogiorno d'Italia (ANIMI). L'Autore è grato al Sig. Fausto Sensi, Amministratore Delegato delle Terme dei Papi, per la autorizzazione ad utilizzare i dati relativi al pozzo perforato per la ricerca di acqua termale e alle relative analisi chimico-fisiche; a Giovanni Savarese per la informatizzazione delle figure.

Riferimenti bibliografici

- Associazione Geotecnica Italiana (1977) Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, 96 p.
- Baiocchi A., Lotti A., Piscopo V. (2012) Conceptual hydrogeological model and groundwater resources estimation in a complex hydrothermal area: the case of the Viterbo geothermal area (central Italy). *Journal of Water Resource and Production*, 4, 231 - 247.
- Baiocchi A., Lotti A., Piscopo V. (2013) Impact of groundwater withdrawals on the interaction of multi-layered aquifers in the Viterbo geothermal area (central Italy). *Hydrogeology Journal*, 21, 1339 - 1353.
- Baldi P., Ferrara G. C., Masselli L., Pieritti G. (1974) Hidrogeochemistry of the region between Monte Amiata and Rome. *Geothermics*, 2.
- Boni C., Bono P., Capelli G. (1986) Schema idrogeologico dell'Italia centrale. *Mem. Soc. Geol. It.*, 35, 991 - 1012.
- Buonasorte G., Cataldi R., Ceccarelli A., Costantini A., D'Offizi S., Lazzarotto A., Ridolfi A., Baldi P., Barelli A., Bertini G., Beltrami R., Calamai A., Caneli G., Corsi R., D'Acquino C., Fiordelisi A., Ghezzi A., Lovari F. (1987) Ricerca ed esplorazione nell'area geotermica di Torre Alfina (Lazio-Umbria). *Boll. Soc. Geol. It.*, 107, 265 - 337.
- Caine J.S., Evans J.P., Forster G.B. (1996) Fault zone architecture and permeability structure. *Geology*, 24, 11, 1025 - 1028.
- Calamai A., Cataldi R., Squarci P., Taffi I. (1976) Distribuzione delle anomalie geotermiche nella fascia preappenninica toso - laziale. *Simp. Intern. Sobre Energia Geotermica en America Latina*, Città del Guatemala 16/23 ott. 1976, 189 - 229.
- 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. (2012 a) Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio. S.E.L.C.A.
- Capelli G., Mastroiillo L., Mazza R., Petitta M. (2012 b) Carta delle Unità Idrogeologiche della Regione Lazio (scala 1: 250.000). S.E.L.C.A.
- Celico P. (1988) Prospezioni idrogeologiche. Vol. II. Liguori Editore, Napoli.
- Chiocchini U. (2016) Comment on "Impact of groundwater withdrawals on the interaction of multi-layered aquifers in the Viterbo geothermal area (central Italy)". Report published in *Hydrogeology Journal*, 21, 1339 - 1353, by Antonella Baiocchi, Francesca Lotti and Vincenzo Piscopo. doi 10.1007/s10040-016-1373-3.
- Chiocchini U. (2024) Lo stato dell'arte della risorsa geotermica nelle zone di Tolfa e Civitavecchia, Italia centrale. 1. Stratigrafia e tettonica. *Geologia Tecnica & Ambientale*, 2, 29 - 40.
- Chiocchini U., Chiocchini M., Manna F. (1987) Studio idrogeologico per il tracciato della galleria Santa Croce della linea ferroviaria Orte-Falconara. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, XXII, 105 -140.
- Chiocchini U., Chiocchini M., Storti F. (1995) Studio stratigrafico-strutturale per la galleria Santa Croce (Appennino Centrale). *Boll. Serv. Geol. d'It.*, CXII, 27 - 48.
- Chiocchini U., Cipriani N., Gisotti G., Macioce A., Manna F., Bolasco A., Lucarini C., Patrizi G.M. (1996) Aree costiere a rischio ambientale: l'esempio di Santa Marinella, provincia di Roma. *Geologia Tecnica & Ambientale*, 1, 35 - 50.
- Chiocchini U., Pignotti S. (2003) Nuovi dati stratigrafico-strutturali dell'area di Narni (Terni - Appennino Centrale). *Boll. Serv. Geol. d'It.*, CXVII, 27 - 32.
- Chiocchini U., Castaldi F., Barbieri M., Eulilli V. (2010) A stratigraphic and geophysical approach to studying the deep-circulating groundwater and thermal springs, and their recharge areas, in the Cimino Mountains-Viterbo area, central Italy. *Hydrogeology Journal*, 18, 1319 - 1341.
- Chiocchini U., Manna F. (2015) Un acquifero carbonatico con sistema idrotermale in crisi idrica: il caso di Viterbo. *Geologia Tecnica & Ambientale*, 1, 39 - 68.
- Chiocchini U., Savarese G. (2019) The Viterbo hydrothermal system and its sustainable exploitation, Central Italy. *Journal of Energy and Power Technology*, Lidsen, V.1, Issue 3. doi 10.219626/jept.1903003.
- Chiocchini U., Savarese G. (2020) Modello idrogeologico concettuale, sorgenti termali estinte e sfruttamento sostenibile del sistema idrotermale di Viterbo. *Mem. Descr. Carta Geol. d'It.*, 107, 69 - 100.
- Chiocchini U., Savarese G., Seidenari L. (2022) L'approvvigionamento di acqua e il funzionamento delle Terme Taurine, Civitavecchia, Italia centrale. *Geologia Tecnica & Ambientale*, 1, 43 - 66.
- Chiocchini U., Manna F., Portoghesi L. (2023) L'acquedotto dell'imperatore Traiano per il porto di Centumcellae, oggi Civitavecchia, nel contesto ambientale dei Monti della Tolfa, Italia centrale. *Geologia Tecnica & Ambientale*, 1, 41 - 72.
- Cinti D., Tassi F., Procesi M., Bonini M., Capecciacci F., Voltattorni N., Vaselli G., Quattrocchi F. (2014) Fluid geochemistry and geothermometer in the unexploited geothermal field of the Vicano-Cimino District (Central Italy). *Chemical Geology*, 371, 96 - 114.
- Cinti D., Procesi M., Poncia P.M., Tassi F., Vaselli G., Quattrocchi F. (2015) Application of the reviewed volume method for evaluation of the geothermal potential in the Vicano-Cimino hydrothermal reservoir (Central Italy). *Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne*, 19 - 25 April 2015, 1 - 6.
- Civita M. (2005) *Idrogeologia applicata e ambientale*. Casa Editrice Ambrosiana, 794 p.
- Conforto B. (1954) Risultati della prima fase di ricerche di forze endogene nel Viterbese. *L'Ingegnere*, A. XXVII, (1), 345 - 350; 521 - 530.
- Forster C., Smith L. (1988 a) Groundwater flow systems in mountainous terrain 1: numerical modeling technique. *Water Resour. Res.*, 24, 999 - 1010.
- Forster C., Smith L. (1988 b) Groundwater flow systems in mountainous terrain 2: controlling factors. *Water Resour. Res.*, 24, 1011 - 1023.
- Frondini F., Cardellini C., Caliro S., Chiodini G., Morgantini N. (2012) Regional groundwater flow and interactions with deep fluids in western Apennines: the case of Narni - Amelia chain (Central

- Italy). *Geofluids*, 12, 182 - 196.
- Gonfiantini R., Panichi C., Tongiorgi E. (1968) Isotopic disequilibrium in travertine deposition. *Earth and Planetary Science Letters*, 5, 55 - 58.
- Grasby S.E., Hutchinson L. (2001) Controls on the distribution of thermal springs in the southern Canadian Cordillera. *Can. J. Sci.*, 38, 427 - 440.
- Harvey M.C., Rowland J.V., Chiodini G., Rissmann C.F., Bloomberg S., Hernández P.A., Mazot A., Viveiros F., Werner C. (2015) Heat flux from magmatic hydrothermal systems related to availability of fluid recharge. *Journ. Volcan. and Geoth. Research*, 302, 225 - 236.
- ISPRA - Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico Nazionale (2018) Carta Idrogeologica d'Italia - 1: 50.000. Modifiche e Integrazioni al Quaderno N. 5/1995. Quaderni Serie III, 5, 73 p.
- Li M., Li G.M., Yang L., Dang X.Y., Zhao C.H., Hou G.C., Zhang M.S. (2007) Numerical modeling of geothermal groundwater flow in karst aquifer system in eastern Weibei, Shaanxi Province, China. *China Series D Earth Sciences*, 50, 36 - 41.
- Lopez D.L., Smith L. (1995) Fluid flow in fault: analysis of the interplay of convective circulation and topographically driven groundwater flow. *Water Resource Res.*, 31, 1489 - 1503.
- Marroni M., Moratti G., Costantini A., Conticelli S., Benvenuti M.G., Pandolfi L., Bonini M., Cornamusini G., Laurenzi M.A. (2005) Geology of the Monte Amiata Region, Southern Tuscany, Central Italy. *Ital. Journ. Geosci.*, 134, n. 2, 171 - 199.
- Minissale A., Kerrich D.M., Magro G., Murell M.T., Paladini M., Rihs S., Sturchio N.C., Tassi F., Vaselli O. (2002) Geochemistry of Quaternary travertins in the region north of Roma (Italy): structural, hydrologic and paleoclimatic implications. *Earth Planet. Sci.*, 203, 709 - 728.
- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, già Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato (2020) Inventario delle Risorse Geotermiche Nazionali. Rapporti Regionali. 13 Regione Lazio.
- Pagano G., Menghini A., Floris G. (1999) Relazione idrogeologica. Progetto delle opere di captazione e distribuzione delle acque termali. Progetto definitivo. Regione Lazio, Comune di Civitavecchia, 59 p.
- Pagano G., Menghini A., Floris G. (2001) Opere di captazione delle acque termali. Le perforazioni. Rapporto definitivo. Regione Lazio, Comune di Civitavecchia, 40 p.
- 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*, 8, 1508 -1521.
- Sbrana A., Fulignati P., Marianelli P., Ciani V. (2015) Mt. Amiata hydrothermal system (Italy): 3D geological and geothermal modeling. *Ital. Journ. Geosci.*, 134, n. 2, 291 - 303.
- Senarum Universitatis (2008) Studio geostrutturale, idrogeologico e geochimico della regione amiatina, 367 p.
- Servizio Geologico Nazionale (1995) Carta Idrogeologica d'Italia - 1: 50.000. Guida al Rilevamento e alla Rappresentazione. Quaderni Serie III, 14, 33 p., 5 tabelle.
- Underschultz J., Esterle J., Strand J., Hayes S. (2018) Conceptual representation of fluid flow conditions associated with faults in sedimentary basins. Prepared for the Department of Environment and Energy by The University of Queensland Centre for Coal Seams Gas, Queensland, 61 p.
- Tor Vergata - Università degli Studi di Roma - Facoltà di Medicina e Chirurgia - Dipartimento di Biomedica e Prevenzione - Sezione di Igiene (2020) Acqua minerale termale "Terme Imperiali".
- Unione Geotermica Italiana (2011) Previsioni di crescita della geotermia in Italia fino al 2030. A cura di G. Buonasorte, R. Cataldi, T. Franci, W. Grassi, A. Manzella, C. Meccheri, G. Passaleva. Sito dell'UGI.
- Unione Geotermica Italiana (2017) Stime di crescita della geotermia in Italia 2016 - 2030, con proiezioni al 2050. Sito dell'UGI.
- Ventriglia U. (1988) Idrogeologia della provincia di Roma. Volume I Regione Tolfetana. Provincia di Roma.
- Yokochi R., Sturchio N.C., Purtschert R., Jiang W., Lu Z.-T., Mueller P., Yang G.-M. (2013) Noble gas radionuclides in Yellowstone geothermal gas emissions: A reconnaissance. *Chemical Geology*, 339, 43 - 51.
- Yuhara H., Ribacchi R. (1963) Osservazioni preliminari su alcune sorgenti termominerali del Lazio. *Industria Mineraria*, 14, 261 - 26.



L'inquinamento
ambientale minaccia
il futuro dei nostri figli.
**Noi lavoriamo
per farli crescere
in un pianeta più sano.**

Play

Da oltre 10 anni il nostro impegno è 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.**





italian Geothermal forum

11 - 12 MARZO 2025

Centro Congressi
Auditorium
Roma

**Arrivederci a Roma,
primavera 2026!**

www.italiangeothermal.it

Un evento di



Segreteria Organizzativa



Main Media Partner



Evento organizzato in collaborazione con



Con il patrocinio di



Sponsor Platinum



Con la partecipazione di



Sponsor Diamond



La ricerca geo-archeologica della tomba di Alarico.

The geo-archaeological research of Alaric's tomb.

Dr. Geol. Amerigo Giuseppe Rota | geologo e pubblico dipendente presso l'Asp di Cosenza (S.S.R. della Calabria).



Termini chiave: geoarcheologia; Lidar (acronimo dall'inglese); telerilevamento ambientale; Consolare Romana; Bacino del fiume Busento; tracce su suolo; tracce di vegetazione; indagini radar (GPR); indagini elettriche di resistività; indagini elettromagnetiche, HVSR.

Keywords: geoarchaeology; Laser Imaging Detection and Ranging (Lidar); Remote sensing; Roman Consular Road; Busento River Basin; soil mark; crop mark; Ground Penetrating Radar (GPR); Resistivity electrical investigation; Electron Magnetic investigation; Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR).



Il dipinto a colori, olio su tela, dell'artista cosentino Francesco Audia raffigura la statua di Alarico, realizzata dal maestro scultore Paolo Grassino.

Abstract

This article represents an evolution of the study previously published in the journal of Technical and Environmental Geology (n. 2/2017), enriched by further scientific evidence, particularly in the field of remote sensing and geomorphology of the site. Among the various applied disciplines of geological sciences, geoarchaeology deserves greater attention and adequate in-depth studies. In Italy, the subsoil hides archaeological deposits of great importance, which constitute cultural and historical testimonies that are part of the world heritage, to be framed within the territorial context of the time. The discovery, protection, and enhancement of these historical and archaeological assets represent a significant economic opportunity for local populations, also from a tourism perspective. Indeed, the tourism industry is currently the most profitable economic sector for civil communities, thanks to the natural and scenic beauties and the historical and archaeological heritage, the latter of which, unfortunately, is still partly poorly protected and valued, especially in some areas of Southern Italy.

In this context, the geoarchaeological research of the burial site of Alaric is situated. This research is based on a certain historical fact: the death of the king of the Visigoths and the subsequent burial took place in a location near the city of Cosenza, in Calabria, in 410 A.D. The study not only represents an interesting cultural and scientific opportunity but can also stimulate the Calabrian reality, contributing to the

economic and social development of the community during a period of economic crisis that has lasted for over a decade. The technical-scientific study considers geomorphological and geographical information about the burial site to be fundamental, as reported in the main historical reference source, the Getica by Jordanes (551 A.D.). This text conveys valuable information about the location chosen by the Visigoths to bury their beloved king, based on stories passed down through time.

The research develops in four phases, aiming to identify increasingly defined areas where the burial site might be located. Geoarchaeological investigations, environmental remote sensing studies, and geophysical prospecting have detected anomalies and useful clues for the research. Finally, the definitive study will be presented to the scientific community and enthusiasts, with the aim of completing it as soon as possible thanks to the contribution of private sponsors..

Riassunto

Questo articolo rappresenta una evoluzione dello studio precedentemente pubblicato nella rivista di Geologia Tecnica & Ambientale (n. 2/2017), arricchito da ulteriori evidenze scientifiche, in particolare nel campo del telerilevamento e dello studio dell'evoluzione geomorfologica del territorio. Tra le varie discipline applicative delle scienze geologiche, la geoarcheologia meriterebbe una maggiore attenzione e approfondimenti adeguati. In Italia, il sottosuolo nasconde giacimenti archeologici di grande importanza, che costituiscono testimonianze culturali e storiche patrimonio dell'umanità, da inquadrare nel contesto territoriale dell'epoca. La scoperta, la tutela e la valorizzazione di questi beni storici e archeologici rappresentano una opportunità economica significativa per le popolazioni locali, anche dal punto di vista turistico. Infatti, l'industria del turismo è attualmente il settore economico più redditizio per le comunità civili, grazie alle bellezze naturalistiche e paesaggistiche e al patrimonio storico e archeologico, quest'ultimo ancora, purtroppo, in parte poco tutelato e valorizzato, soprattutto in alcune realtà del Sud d'Italia.

In questo contesto si inserisce la ricerca geoarcheologica del sito di sepoltura di Alarico. Questa ricerca si basa su un dato storico certo: la morte del re dei Visigoti e la relativa sepoltura avvennero in una località vicina alla città di Cosenza, in Calabria, nel 410 d.C. Lo studio non solo rappresenta un'interessante opportunità culturale e scientifica, ma può anche stimolare la realtà calabrese, contribuendo allo

sviluppo economico e sociale della comunità in un periodo di crisi economica che perdura da diversi decenni.

Lo studio tecnico-scientifico considera basilari le informazioni geomorfologiche e geografiche del sito di sepoltura, riportate nella principale fonte storica di riferimento, *la Getica* di **Giordane** (551 d.C.). Questo testo tramanda preziose informazioni sul luogo scelto dai Visigoti per seppellire il loro amato re, basate su racconti tramandati nel tempo.

La ricerca si sviluppa in 4 fasi, con l'obiettivo di individuare aree sempre più definite in cui potrebbe trovarsi il sito di sepoltura. Le indagini geoarcheologiche, gli studi di telerilevamento ambientale e le prospezioni geofisiche realizzate hanno riscontrato anomalie ed indizi utili per la ricerca. Infine, lo studio definitivo sarà presentato alla comunità scientifica e agli appassionati, con l'obiettivo di completarlo al più presto grazie al contributo di sponsor privati.

Ulteriori sviluppi della ricerca.

In questo breve articolo, illustro gli sviluppi della mia lunga ricerca sul sito di sepoltura di Alarico. Negli anni, mi sono dedicato a questa indagine avvalendomi principalmente delle fonti storiche come guida, e svolgendo studi specifici di geologia applicati all'archeologia, che hanno consentito di rilevare indizi sul paesaggio e nell'immediato sottosuolo, potenzialmente correlabili alla tomba perduta dei Visigoti. Sono ottimista sulla possibilità di individuarne l'ubicazione, orientando la ricerca proprio sulle informazioni storiche tramandate da Jordanes.

Si tratta di un costante dialogo tra passato e presente. Combinando metodologie tradizionali e approcci innovativi, potremmo ottenere risultati intriganti e promettenti per svelare il mistero che circonda la tomba di Alarico.

Analizzando la principale fonte storica sull'argomento, emergono considerazioni importanti tratte dalla Storia dei Goti di Jordanes, il quale descrive il contesto geografico e morfologico del sito della sepoltura, che ho cercato di analizzare scrupolosamente.

Le seguenti riflessioni guidano la ricerca:

- **Fatto storico consolidato.** È un dato di fatto che la storia narra della morte di Alarico e la sua sepoltura in una località prossima alla città di Cosenza.
- **Tecnologie non invasive.** Oggi la scienza dispone di tecniche e dispositivi in grado di esplorare ampie porzioni del sottosuolo senza necessità di apportare rimaneggiamenti al terreno.
- **Presenza di Alarico in Calabria.** Sebbene Alarico non fosse originario della Calabria, trascorse gli ultimi

mesi della sua vita in questa regione. La sua sepoltura, avvolta da leggende e arricchita da un consistente corredo funebre, rappresenta una notevole opportunità di sviluppo economico per le popolazioni locali.

- **Concordanza con la descrizione di Jordanes.** Alcuni siti all'interno della macro area della ricerca mostrano somiglianze significative con il vero sito di sepoltura descritto da Jordanes nella Getica, tenendo conto delle trasformazioni che il territorio ha inevitabilmente subito nel corso dei secoli che ci separano da quell'evento storico (circa 1600).

Analizzando la fonte storica, emergono dettagli che delineano un quadro attendibile del sito di sepoltura, offrendo preziose informazioni morfologiche, idrauliche specifiche riferibili alla localizzazione geografica della tomba. Le informazioni elencate ci consentono di orientare e definire l'area della ricerca con un grado d'approssimazione accettabile:

- a. Il fiume è il Busento.** La sepoltura è associata a questo fiume.
- b. La città di Cosenza.** La città è menzionata due volte come luogo prossimo alla sepoltura.
- c. I misteriosi flutti salutiferi.** Il sito di sepoltura è situato in un luogo dove le acque o il versante generano misteriosi flutti salutiferi.
- d. Ubicazione alla base di un rilievo.** La tomba si trova alla base di rilievi incisi dal corso del fiume (pedis muntis), non nella piana alluvionale estesa a nord di Cosenza, correlata al fiume Crati.
- e. Tratto del fiume derivabile.** Il punto di sepoltura è situato lungo il suo alveo, in un luogo con un'ampia area di divagazione dell'alveo tale da consentirne la deviazione.
- f. Presenza di un idoneo materasso alluvionale.** In alcune sezioni del fiume è presente un materasso alluvionale adeguato (considerazione di tipo geotecnico) che avrebbe reso più agevole lo scavo della camera sepolcrale (buca), qualora la tomba fosse stata realizzata in alveo.

Considero altrettanto vincolanti altre due esigenze dei Goti: la prima è la segretezza del luogo di sepoltura. I Visigoti avevano l'impellente necessità di mantenere segreta la posizione della loro sepoltura, il che li ha spinti a scegliere un luogo appartato, caratterizzato da una morfologia idonea a garantire la massima riservatezza. L'ubicazione fu accuratamente selezionata, lontana da occhi indiscreti e fuori da contesti urbani. La seconda esigenza è la facilità di transito lungo l'antica via Popilia. Questa necessità era

di viaggiare agevolmente lungo l'unico percorso stradale carrabile disponibile all'epoca per raggiungere Reggio Calabria. I Goti percorsero la Consolare romana, nota come l'antica via Popilia, che attraversava proprio Cosenza. In prossimità del Duomo di Cosenza (che all'epoca non esisteva), era situata un'importante stazione di sosta lungo quell'asse stradale, che garantiva una sosta strategica nel loro tragitto. Questa scelta rifletteva la loro attenzione alla praticità e alla logistica nel determinare il percorso più agevole, sicuro e veloce per raggiungere la destinazione finale (Reggio Calabria).

Queste importanti informazioni hanno indirizzato gli studi, focalizzando le indagini e le ricerche su aree caratterizzate da specifiche peculiarità geomorfologiche, geografiche e idrauliche.

L'ipotesi di base è che Alarico sia stato sepolto all'interno dell'attuale bacino idrografico del fiume Busento, che si estende su una superficie di 145 km², all'interno della media-alta valle del fiume Crati (fig.2). Negli ultimi 1600 anni, le dinamiche territoriali hanno riguardato principalmente il sollevamento del livello del suolo di circa 2 metri (Tortorici et al., 1995; Westaway, 1993; Montenat et al., 1991), l'approfondimento degli alvei fluviali e la mobilitazione di corpi di frana in specifiche zone. Tuttavia, un aspetto chiave ai fini della ricerca è che i corsi fluviali all'interno di questo bacino idrografico hanno mantenuto sostanzialmente i loro percorsi originali. Le eventuali deviazioni planimetriche sono state limitate e condizionate dalle disposizioni dei versanti per migliaia di anni (fig. 1).

Questa analisi geologica e idrografica fornisce un solido fondamento per orientare ulteriormente le ricerche e le indagini archeologiche, contribuendo a circoscrivere l'area di ricerca per la sepoltura di Alarico.



Figura 1 – Fiume Busento con l'alveo confinato tra i due versanti.



Figura 2 – Porzione del bacino idrografico del fiume Busento.

Proseguendo negli studi, sono state individuate dieci aree ben definite in cui sembra più probabile la collocazione della tomba. Questa selezione si basa su ulteriori approfondimenti condotti attraverso:

- **Acquisizione di dati storici e geografici.** Sono stati delineati e circoscritti contesti areali ben definiti attraverso un approfondito rilevamento geologico, integrando informazioni storiche e geografiche.
- **Dati da telerilevamento (remote sensing).** L'utilizzo di dati da telerilevamento ha consentito di individuare tracce e indizi rilevanti per la ricerca, come soil mark e crop mark, al fine di individuare dettagli del terreno che possono indicare la presenza di strutture antiche sepolte.
- **Verifica con prospezioni geofisiche.** Alcuni indizi individuati sono stati verificati e approfonditi attraverso prospezioni geofisiche, per testarne l'attendibilità e acquisire una conoscenza dettagliata delle caratteristiche del sottosuolo.
- **Scavi archeologici esplorativi.** Previo ottenimento delle autorizzazioni necessarie dalle autorità competenti, sono stati pianificati, ma non ancora realizzati, scavi archeologici esplorativi nelle aree in cui, nel sottosuolo, sono state rilevate anomalie significative tramite le indagini geofisiche. Questa fase è cruciale per confermare la presenza di reperti archeologici e per acquisire ulteriori informazioni sulla possibile ubicazione della tomba di Alarico.

L'approccio integrato di queste metodologie mira a fornire una visione completa e accurata, consentendo di concentrare le risorse e gli sforzi solo nelle aree più promettenti

e simili a quelle descritte nella narrazione storica.

Tornando alle fonti storiche, è documentato che i Visigoti attraversarono l'intera Calabria seguendo la strada Consolare. Durante il loro viaggio, transitarono due volte per Cosenza, situata lungo la via romana. In prossimità del Duomo, importante stazione di sosta identificata dal miliare di Polla (fig. 3), la loro presenza in questi luoghi è attestata da più fonti. Cosenza rappresentava un punto di transito obbligato.

Sull'elogio sono annotate le stazioni di sosta lungo il percorso, accompagnate dalle relative distanze da percorrere per raggiungerle. Le distanze sono espresse in

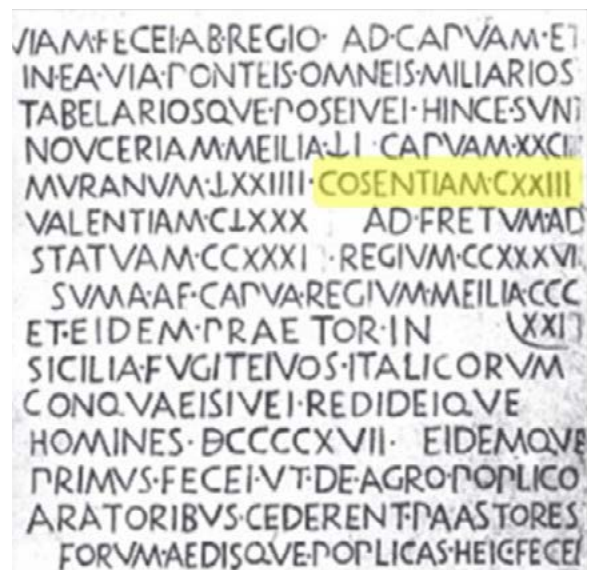


Figura 3 – Trascrizioni riportate sul miliare di Polla.



Figura 4 – Carta geologica di una porzione dell'area di indagine.

miglia romane (un miglio romano corrisponde a 1,480 chilometri), e si evidenzia che Cosenza (Cosentiam) si trova a 123 (CXXIII) miglia romane da quel riferimento, corrispondenti a circa 182 km. Questa informazione quantifica in modo preciso la distanza tra la stazione di sosta di Cosenza e il punto di riferimento sull'elogio (Capua), offrendo una chiara indicazione della posizione della città all'interno della rete viaria romana.

L'analisi della carta geologica (fig. 4) rivela che le alluvioni attuali e recenti costituiscono il contesto litologico prevalente in alveo, riempiendo e plasmando i materassi alluvionali dei principali corsi idrici dell'area monitorata. A mio avviso, è probabile che in questo contesto stratigrafico si può trovare la tomba o, in alternativa, in un'un'ansa fluviale scavata nella roccia. La presenza di depositi alluvionali recenti può essere fondamentale per comprendere le dinamiche del terreno nel corso del tempo e può fornire indizi cruciali per orientare ulteriormente la ricerca

archeologica in quest'area specifica.

L'analisi tele-rilevata del territorio ha evidenziato marcatori correlabili a strutture antropiche sepolte. Nella figura 5 sono visibili soilmark proprio nell'alveo del fiume Busento, in una località ubicata nel territorio comunale di Domanico (Cs). La stessa area è rappresentata con due modalità diverse: una immagine Lidar (prodotta con onde EM con lunghezze d'onda comprese tra la banda dell'ultravioletto a quella dell'infrarosso vicino) e un'immagine fotografica relativa alla banda elettromagnetica del visibile.

Questi marcatori, individuati attraverso l'analisi tele-rilevata, suggeriscono la presenza di strutture sepolte in quell'area del fiume Busento. L'utilizzo combinato di diverse modalità di imaging offre una prospettiva completa, consentendo di identificare dettagli che potrebbero rivelarsi utili a localizzare la leggendaria tomba.

L'immagine Lidar mette in evidenza strutture lineari di



Figura 5 – Confronto tra immagine Lidar e foto nel visibile

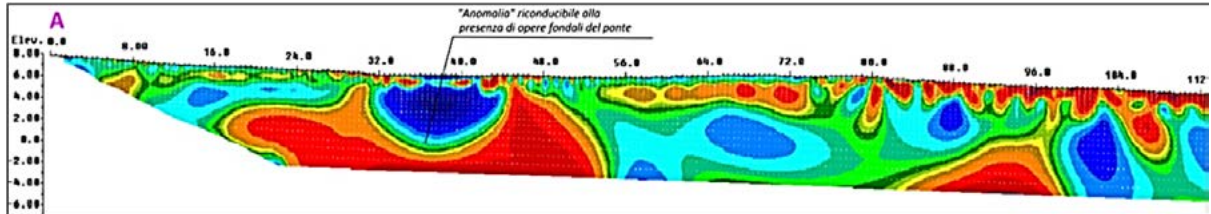


Figura 6 - Sezione tomografica elettrica con evidenza dell' arco rovescio di fondazione dell'antico ponte romano sul Busento antico.

probabile origine antropica, non visibili invece sull'immagine fotografica adiacente. Questa differenza suggerisce la presenza di caratteristiche del terreno non immediatamente rilevabili dall'occhio umano, ma identificabili attraverso l'analisi Lidar, che è particolarmente sensibile alle variazioni di altitudine e in grado di rilevare dettagli topografici situati immediatamente sotto la superficie del suolo.

In altre aree, sono state condotte indagini geofisiche dettagliate alla ricerca di possibili infrastrutture sepolte, basate su indizi individuati tramite il telerilevamento, che consentono di formulare determinate ipotesi. Questo approccio, che combina l'analisi visiva delle immagini con tecniche di rilevamento geofisico, ha l'obiettivo di confermare la presenza di strutture sepolte e di fornire ulteriori dettagli sulla loro natura, disposizione e geometrie. La sinergia tra diverse metodologie contribuirà a una comprensione più approfondita del contesto archeologico nell'area di interesse.

Un'indagine condotta sulla sponda sinistra del fiume Busento, attraverso la prospezione elettrica tomografica, ha rilevato, nei pressi della confluenza con il fiume Crati, la presenza di una struttura antropica ad arco rovescio. Questa struttura potrebbe essere associata all'antico arco di fondazione del ponte romano sul Busento (oggi ponte Mario Martire), che serviva come attraversamento per l'antica strada consolare (fig. 6).



La mappa del tesoro: prima ipotesi sulla ubicazione della tomba.

Sulla base delle fonti storiche e dell'evoluzione geomorfologica degli ambienti naturali, sono state individuate 10 aree che mostrano caratteristiche fisiche e geografiche compatibili con il sito di sepoltura descritto da Jordanes. Tra queste, esaminiamo brevemente il sito che presenta maggiori congruenze con quello delineato dalla narrazione storica.

La Figura 7 indica una linea rossa che rappresenta l'antico tracciato romano utilizzato dai Visigoti per raggiungere Reggio Calabria a seguito dell'evento del sacco. Questo percorso, partendo da Capua e attraversando le regioni di Campania, Lucania e Calabria, passava per Cosenza, dove si trovava una stazione di sosta nei pressi del Duomo, che all'epoca non esisteva. Questo è il principale motivo per cui la storia dei Visigoti si è intrecciata con quella dei cosentini e dei calabresi: passare per Cosenza era una condizione obbligata per i Goti.

Nella Figura 8, un estratto della mappa satellitare acquisita da Google Earth mostra un tratto della valle del torrente Acheronte, conosciuto anticamente come *Busentinum*. L'attuale alveo è evidenziato da una linea continua tratteggiata in celeste. L'area racchiusa dal riquadro rosso potrebbe rappresentare il luogo scelto dai Visigoti per la sistemazione della tomba del loro defunto re.

Da un punto di vista idraulico e morfologico, questa zona offre le condizioni ideali per derivare le acque del fiume, rispecchiando così la descrizione delle fonti storiche:

"De alveo suo derivato nam hic fluvius". Infatti, durante la costruzione della buca in alveo, era necessario deviare

Figura 7 -Porzione settentrionale dell'area di indagine con indicazione della prima ipotesi del sito di sepoltura

l'acqua del torrente verso la sponda opposta a quella in cui si stava lavorando. Dall'analisi del contesto idraulico del torrente e da quello morfologico dei versanti, sembra evidente una morfologia fluviale pregressa del versante posto a destra al corso idrico.

Dal punto di vista dell'evoluzione geomorfologica, si può argomentare che la linea tratteggiata in giallo rappresenti l'antico percorso fluviale dell'Acheronte prima del 410 d.C., basandosi sulla conformazione del versante. Questa specifica morfologia fluviale è tipicamente associabile all'erosione idraulica attivata dallo scalzamento alla base del versante, prodotto dalla corrente idrica.

All'incrocio tra la linea tratteggiata gialla (che rappresenta l'antico percorso del fiume) e quella tratteggiata in celeste (l'attuale corso idrico), potrebbe essere stata realizzata un'opera di deviazione idraulica rigida da parte dei Visigoti, come indicato dalla fonte storica (area color arancio). Inoltre, sulla sponda sinistra del corso idrico, sul versante esposto a est, si trova una sorgente d'acqua conosciuta oggi come *Merenzata*. I flussi idrici di questa sorgente scorrono lungo un fronte di circa 50 mt e si immettono direttamente in alveo. Questa naturale configurazione corrisponde perfettamente a quanto descritto dalla fonte storica:

"A pede montis iuxta urbem dilapsus fluit unda salutifera". L'analisi di questi dettagli idraulici e morfologici conferma ulteriormente la coerenza tra la descrizione storica e le caratteristiche fisiche dell'area, consolidando l'ipotesi sulla possibile collocazione della tomba di Alarico.

I "misteriosi flutti salutiferi" menzionati nella storia potrebbero, a mio avviso, corrispondere ai *fiotti d'acqua* che ancora oggi sgorgano dal versante da almeno 3 distinte emergenze idriche. Jordanes, un fervente cristiano come Cassiodoro, Alarico e tutti i Visigoti, sembrava chiaramente riferirsi all'acqua potabile, che rappresenta la vita e quindi salutare. Inoltre, ha anche un significato religioso rilevante poiché essenziale nel rito battesimale e simbolo di resurrezione.

In quanto cristiano contemporaneo, così come intendevano quelli all'epoca di Alarico e di Jordanes, comprendiamo bene il significato salvifico dell'acqua, in linea

con l'insegnamento di Cristo evidenziato da Giovanni nel suo Vangelo (Gv 4,13-14):

¹³ *Rispose Gesù: «Chiunque beve di quest'acqua avrà di nuovo sete; ¹⁴ ma chi beve dell'acqua che io gli darò non avrà mai più sete anzi, l'acqua che io gli darò diventerà in lui sorgente d'acqua che zampilla per la vita eterna».*

Questa prospettiva spirituale e simbolica potrebbe illuminare ulteriormente la comprensione dei "flutti salutiferi" descritti nella narrazione storica.

È interessante notare la presenza di diffuse concrezioni travertinose che caratterizzano il versante dei misteriosi *flutti salutiferi* (*sorgente d'acqua che zampilla*). Questa caratteristica fornisce elementi validi per sostenere che la fonte d'acqua sia antica. Inoltre, nel caso in cui i Goti avessero pianificato di riportare i resti mortali di Alarico, insieme al ricco corredo funebre, in un mausoleo opportunamente realizzato in sua memoria nel loro futuro regno, la posizione della sorgente e la deviazione del fiume sarebbero stati punti di riferimento geografici affidabili per localizzare il luogo di sepoltura anche a distanza di anni dall'evento. Questo approccio strategico riflette una visione avanzata per l'epoca e dimostrerebbe la cura e l'attenzione posta dai Visigoti nella scelta del sito di sepoltura. Gli studi condotti sul promettente sito sono stati recentemente ulteriormente approfonditi utilizzando le immagini satellitari ad alta risoluzione acquisite dal satellite *Sentinel 2*. L'analisi delle immagini composte al *Moisture Index* ha rilevato interessanti anomalie, in particolare un marcato motivo geometrico situato nel punto indicato dal riquadro rosso di figura 8. L'area pseudo-triangelare di colore giallo (figura 9) corrisponde al terrazzo fluviale

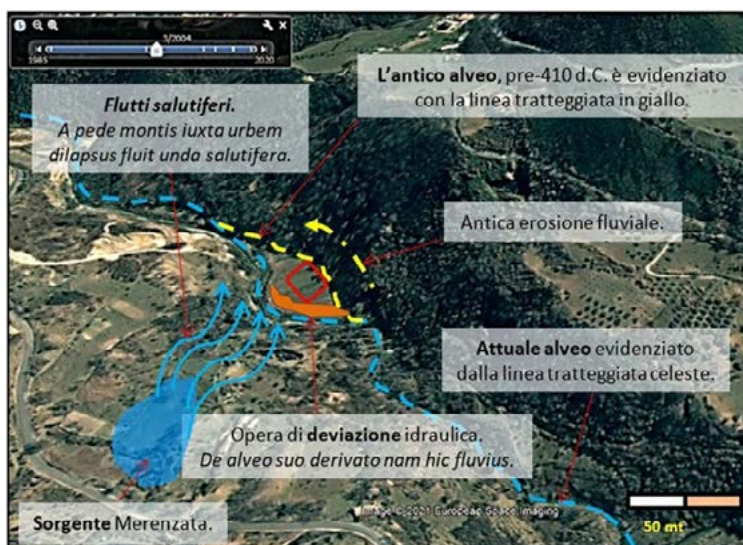


Figura 8 - Prima ipotesi di ubicazione della tomba e descrizione del sito in riferimento alla fonte storica.

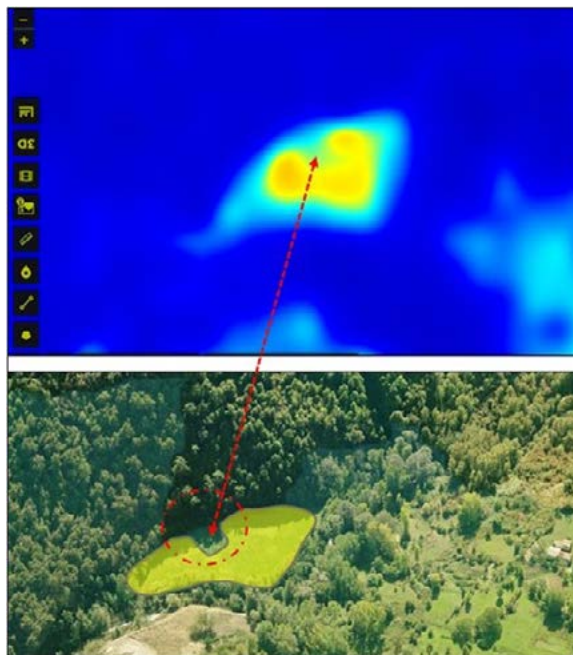


Figura 9 - Anomalia geometrica evidenziata dall'immagine Moisture Index di Sentinel 2 del 19/09/2022

che devia il fiume Acheronte verso ponente, mentre l'area quadrangolare color celeste chiaro si trova all'interno del terrazzo fluviale, esattamente alla base del versante di levante (*pedis muntis*). Questa potrebbe essere l'area anticamente investita dall'alveo del fiume, dove si ipotizza sia localizzata la tomba.

L'anomalia presenta un ingombro planimetrico di circa 15 metri per 20 metri e può essere associata al luogo scelto dai barbari per la costruzione del sepolcro. La rilevazione di questa anomalia potrebbe corrispondere ai materiali di riempimento utilizzati dai Goti durante i lavori, i quali presenterebbero caratteristiche fisiche diverse rispetto al contesto litologico e stratigrafico circostante (colore giallo).

Il sito descritto si trova in una località che garantiva la segretezza delle operazioni di deviazione del fiume, essendo lontana da occhi indiscreti. Nel corso del tempo, questa caratteristica ha contribuito a preservare l'inviolabilità della tomba, secondo quanto specificamente inteso dai Visigoti:

"Et ne a quoquam quandoque locus cognosceretur".

Un'altra considerazione interessante riguarda la distanza tra l'antica Consolare Romana e la località appena descritta che, in linea d'aria, è di appena 4 chilometri (fig. 7).

Questa vicinanza geografica può essere interpretata come un elemento di coerenza con la storia narrata dalle fonti, rafforzando l'idea che questo sito potrebbe effettivamente essere stato scelto dai Visigoti per la sepoltura di Alarico. Ritengo sia plausibile ipotizzare anche una diversa sistemazione della tomba. Potrebbe essere stata realizzata in un luogo adiacente a quello appena descritto, garantendo così una migliore conservazione e un più agevole recupero dei resti del defunto e del ricco corredo funebre, qualora ciò fosse stato successivamente possibile. In questo scenario, la tomba potrebbe essere stata collocata in una grotta naturale situata proprio alla base del versante roccioso nei pressi dell'antico alveo del fiume (linea tratteggiata gialla di fig. 8) oppure in un vano appositamente scavato nella roccia e successivamente sigillato e coperto da abbondante materiale fluviale, per occultare, per sempre, l'ingresso del sepolcro.

Se le ipotesi formulate risultassero veritiere, confermerebbero pienamente sia la fonte storica di Jordanes sia la ricerca geo-archeologica illustrata. Avevo già anticipato alcuni risultati in un articolo pubblicato sulla rivista tecnico-scientifica "Geologia Tecnica & Ambientale" (n. 02/2017) edita dal Consiglio Nazionale dei Geologi e nella prima edizione del libro su Alarico^[1].

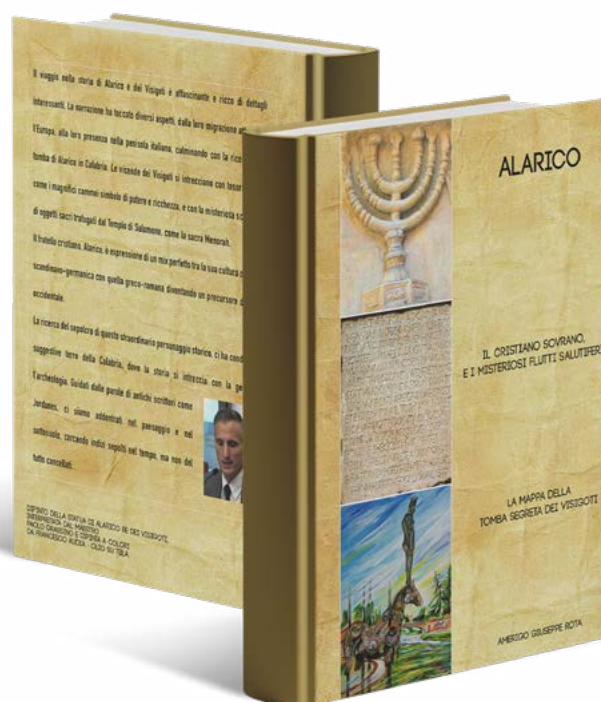
Spero che le autorità competenti in materia, alla luce di quanto esposto, si attivino per verificare le ipotesi formulate. In tal caso, la realizzazione di saggi esplorativi nei luoghi indicati potrebbe portare alla luce, dopo sedici secoli, la leggendaria tomba segreta dei Visigoti.

Bibliografia

- S. Aurelii Augustini, *De Civitate Dei*. Libro 1 paragrafo 1.
- U. Roberto, *Il giudizio della storiografia orientale sul sacco di Roma e la crisi d'occidente: il caso di Olimpiodoro di Tebe*. Roma 2012, Institutum Patristicum Augustinianum, pag. 71.
- R. M. Boretti, *Alarico e Cosenza*. Editrice Asemit, 2016, pag.79.
- V. Arnoni, *La Calabria illustrata*. Cosenza, 1994.
- Volume "Calabria Fascista" del 22 novembre del 1937.
- Iordanis, *De origine Actibusque Getarum*. Capitolo XXX paragrafi 157-158.
- E. Cuozzo, *Cultura cittadina e documentazione. Formazione e circolazione dei modelli - Cosenza medievale. Una città riprogettata negli anni di Federico II di Svevia*. Bologna, 2006, pp.357-358.
- G. Gissing, *Sulla riva dello Ionio*. Editrice Rubettino, 2007.
- V. Spanò, *La Via Popilia Annia in Calabria. Rilievo e ricostruzione*. Laruffa Editore, 2010.
- E. Gibbon, *Storia della decadenza e rovina dell'impero Romano*. Volume 2 cap. XXXI, pag. 427.
- D. Andreotti, *Storia dei Cosentini*. Editrice Pellegrini 1978; Vol. I pag.308-311.

¹ A. G. Rota, Alarico. *Barbaro, cittadino romano e cristiano*. Ed. Rossini, 2020.

- P. Orsi, *Archivio Storico della Calabria*. Vol. III, 1915, pag. 326-328.
- G. Cimino, *Sul sito di sepoltura di Alarico I*. Cosenza, Doxa ed. 2015.
- A. Morelli, L. Bonardi, G. Colonna, V. Dietrich, D. Giunta, G. Perrone, V. Piccaretta, G. Russo, M. Scandone, P. Zanettin-Lorenzoni, E. Zupetta, A. 1976, *L'Arco calabro-peloritano nell'orogene appenninico maghrebide*. Mem. Soc. Geol. Italiana 17, 1-60.
- A. Rota, F. Fichera, *Magnetic interpretation related to 'Geomagnetic Provinces': The Italian case history*. 1985, *Tectonophysics* 138, 2-4, 179-196.
- M. Boccaletti, R. Nicolich, L. Tortorici, *The Calabrian Arc and the Ionian Sea in the dynamic evolution of the Central Mediterranean*. 1984.
- M.B. Cita, F. Ricci Lucchi, *Seismicity and Sedimentation*, Mar. Geol. 55, 219-245.
- G. Bonardi, V. Colonna, D. Dietrich, G. Giunta, V. Liguori Lorenzoni, S. Paglionico, A. Perrone, V. Piccaretta, G. Russo, M. Scandone, P. Zannettin Lorenzoni, E. A. Zupetta, *L'Arco calabro-peloritano. Carta geologica. Scala 1:500.000*, 1976, Mem. Soc. Geol. Italiana 17.
- A. G. Rota, *Alarico. Barbaro Cristiano e cittadino romano*. Ed. Rossini, 2020.
- A. CAMEZ, *Carta geologica della Calabria alla scala 1:25.000 Cassa per il Mezzogiorno Poligrafica and Cartevalori Ercolano*. 1967, IGM Firenze e Roma.
- E. Cassano, R. Fichera, A. Rota, *Rilievo aeromagnetico d'Italia. Alcuni risultati interpretativi*. 1986, C.N.R. Gruppo Nazionale Geofisica della terra Solida, Atti V Convegno II, pp. 939-962.
- E. Piluso, L. Morten, *Calabrian continental ribbon within Tethyan oceanic realms: a possible mesozoic scenario from Catena Costiera, northern Calabria, Italy*. Abstract of "3rd Workshop on Alpine Geological Studies", 1997, Biella Sept. 29 - Oct. 1, Quaderni di Geodinamica Alpina e Quaternaria, vol 4, 208-209.



PER APPROFONDIMENTI
sugli argomenti trattati, rimandiamo
al libro "Alarico" edito da Amazon.

I PRATI ARMATI® sono l'unica tecnologia antierosiva in grado di rispettare e superare tutte le prescrizioni imposte dal **Reg. (UE) 2020/852 e dal Principio DNSH**: *«...gli obiettivi ambientali cui deve contribuire un'attività economica per essere considerata ecosostenibile, devono contribuire in modo sostanziale alla mitigazione dei cambiamenti climatici e non arrecare alcun danno a nessun altro obiettivo ambientale»*. I PRATI ARMATI® consentono la risoluzione di problemi geotecnici, idraulici, ambientali, mediante l'utilizzo di

un'unica tecnologia, in perfetta sintonia con l'ambiente, con consumi energetici e di inquinamento trascurabili, bassi rischi di cantiere e assenza di manutenzione: LA NATURA CHE SALVA SE STESSA



Studi, tesi, ricerche, sperimentazioni compiute presso le principali università italiane e centinaia di cantieri realizzati in Italia e all'estero, hanno dimostrato che con i **PRATI ARMATI®** è possibile:

- 01 Bloccare l'erosione in qualunque condizione pedoclimatica**, anche su litotipi sterili e inquinati: ad esempio su smarino tal quale, senza necessità di terreno vegetale o altri manufatti e materiali.
- 02 Diminuire l'infiltrazione ed aumentare la traspirazione**, contribuendo a migliorare, anche in profondità, i principali parametri geomeccanici dei terreni, quali saturazione, coesione etc. mitigando anche il rischio di frana a media profondità.
- 03 Incrementare la resistenza al taglio degli strati superficiali dei terreni** iniettando una coesione aggiuntiva, dovuta all'apparato radicale.
- 04 Eliminare il terreno vegetale** che si erode e scivola a valle ed ogni altro manufatto e materiale plastico quali geocelle, geostuoie, georeti, ed anche biostuoie, mulch, matrici di fibre di legno legate, juta liquida, idrosemine rinforzate, etc..
- 05 Eliminare le tradizionali opere civili di captazione e regimazione superficiale delle acque meteoriche** (canalette, finsider, embrici, fossi di guardia, etc.) lavorando direttamente sul terreno tal quale con forti vantaggi tecnici, risparmi economici, di tempo, drastica riduzione di permanenza e rischi di cantiere, durabilità nel tempo.
- 06 Eliminare ogni manutenzione** con risparmi economici, logistici ed energetici.
- 07 Diminuire il consumo di energia**: per realizzare un impianto di PRATI ARMATI® si riducono infatti le emissioni da 10 a 100 volte rispetto alle tecniche antierosive tradizionali.
- 08 Sottrarre fino al 400% in più di CO₂**: gli impianti di PRATI ARMATI® assorbono fino al 400% in più di CO₂ rispetto a impianti antierosivi tradizionali.
- 09 Mitigare i cambiamenti climatici**: per la realizzazione di un impianto antierosivo di PRATI ARMATI® si riduce fino a 100 volte l'emissione di CO₂, CO, SO_x, NO_x, Particolato, rispetto alle soluzioni tradizionali.
- 10 Adattarsi ai cambiamenti climatici**: I PRATI ARMATI® resistono a temperature estreme comprese tra -35< T <60 °C e a reazioni del terreno comprese tra 3< pH <11 adattandosi a tutte le condizioni pedoclimatiche, riducendo oltretutto le temperature al suolo.
- 11 L'uso sostenibile e la protezione delle acque e delle risorse marine**: PRATI ARMATI srl utilizza particolari specie azotofissatrici autoctone, al posto di concimi chimici evitando l'eutrofizzazione delle acque. I PRATI ARMATI® operano anche una bioremediation in situ.
- 12 La transizione verso un'economia circolare** PRATI ARMATI srl raccoglie molte delle proprie sementi nelle varie zone di utilizzo: si tratta quindi di una tecnologia a km ZERO.
- 13 La prevenzione e la riduzione dell'inquinamento**: si riducono fino a 100 volte i costi energetici e le emissioni inquinanti durante l'installazione, si eliminano molte opere in metallo e in grigio (manufatti in cemento quali canalette ed embrici, finsider etc). Si ricorda che per produrre 1 kg di cemento si emette circa 1 kg di CO₂.
- 14 La protezione e il ripristino della biodiversità** mediante l'utilizzo di fiori e specie mellifere che favoriscono il rientro degli insetti impollinatori, ricreando così un habitat naturale.



La prova DCPT (Dynamic Cone Penetration Test, o DP, Dynamic Probing) secondo un'interpretazione razionale

Piergiuseppe Frolidi | Geologo e Ingegnere Civile Geotecnico – MEng Geotechnical Engineering CNAM – Paris



Termini chiave: Prove DCPT, rendimento aste, interpretazione razionale.

Keywords: DCPT testing, rod efficiency, rational interpretation.

Riassunto

La prova DP (Dynamic Probing o DPC o SCPT) è una delle indagini maggiormente utilizzate nel mondo per la caratterizzazione geotecnica dei terreni; la sua interpretazione avviene quasi sempre attraverso il passaggio intermedio empirico ad un valore equivalente di N_{SPT} e successivamente con l'utilizzo di correlazioni empiriche sperimentali (in sito o di laboratorio) sito-specifiche basate sul parametro così ricavato della SPT.

Ancora oggi si assiste frequentemente ad un fiorire indiscriminato di tali correlazioni, senza inquadrare correttamente i fenomeni che governano la meccanica dell'avanzamento della prova DP.

Poiché entrambe le correlazioni (empiriche) sopra richiamate non hanno in genere un fondato significato fisico-meccanico, nel presente articolo si vuole determinare le basi di una procedura analitica che, senza inoltrarsi nella complessità dell'argomento, sia comunque basata su solide leggi razionali, in grado di superare l'ambiguità delle correlazioni empiriche e di proporre un approccio scientifico convenzionale alla interpretazione delle prove dinamiche.

In particolare si affronta il tema della determinazione dell'efficienza energetica della batteria di aste che, nelle prove DP potrebbe costituire un tassello importante nella determinazione del rendimento complessivo.

Per tutto quanto non illustrato nel presente articolo si

faccia riferimento ai precedenti lavori dell'autore [Frolidi, A, B, 2023; Frolidi, C, 1, 2, 3, 4, 5, 2024].

Simbologia e definizioni

La maggior parte delle definizioni sono riprese da precedenti articoli dell'autore sulla prova SPT [Frolidi, A, B, 2023; Frolidi, C, 1, 2, 3, 4, 5, 2024] alle quali si rimanda per la comprensione dei sistemi penetrometrici dinamici. Si riportano al seguito alcune delle principali:

Hammer mass – m_h [kg] (massa del martello)

Anvil mass – m_a [kg] (massa dell'incudine)

Rod mass – m_r [kg/m] (massa unitaria delle aste)

Hammer weight – w_h [kN] (peso del martello)

Anvil weight – w_a [kN] (peso dell'incudine)

Rod weight – w_r [kN] (peso unitario delle aste)

Total weight – w_{har} [kN] (peso totale del sistema martello-incudine-aste)

Hammer-anvil system efficiency – η_{ha} [%] (efficienza o rendimento del sistema martello-incudine)

Rod battery system efficiency – η_r [%] (efficienza o rendimento del sistema batteria di aste)

Assembled system overall efficiency – η^* [%] = $\eta_{ha} \times \eta_r$ (rendimento del sistema complessivo)

Unitary Equivalent Static Force – FSE = RS (Static Resistance) [N] (forza equivalente statica unitaria x colpo)

Rod battery stiffness – K_r [N/m] (rigidezza elastica della batteria di aste)

Unitary insertion – δ_{DP} [m] = I_{DP}/N_{DP} con noto significato dei termini (affondamento unitario, per colpo).

Introduzione

La prova DP (o DCPT o SCPT), la quale, a differenza della SPT, è condotta in continuo nel suo avanzamento, è adatta principalmente per i terreni granulari e per profondità contenute all'interno di determinati valori in funzione dell'energia di penetrazione indotta dal sistema di battuta [ISSMFE, 1989] e di trasmissione dell'energia alla punta di penetrazione; il sistema complessivo è composto dai sottosistemi maglio (hammer), incudine (anvil) e batterie di aste (rod battery). L'energia motrice è quella indotta dalla caduta del maglio (o martello) sull'incudine ($m \times g \times h$), con la quale si determina la resistenza unitaria alla punta, che è funzione del numero di colpi (N_{DP}) necessari al suo avanzamento (I_{DP}), caratteristico della tipologia di prova adottata.

Nel caso dei sistemi DPH (Dynamic Probing Heavy) e DPSH (Dynamic Probing SuperHeavy) la profondità di penetrazione potrebbe arrivare, in determinate condizioni, anche superare i 25 m.

Prima e dopo la principale normazione emessa per tali sistemi, si sono diffuse attrezzature differenziate per

caratteristiche geometrico-dinamiche, esecutive e procedurali, anche per utilizzi in ambiti diversi (es.: agricoltura) come illustrato in numerosi articoli in bibliografia [es.: Sowers & Hedges, 1966; Tolia, 1977; Herrick & Jones, 2002; Vagnas, Minasny & McBratney, 2004; Benz-Navarrete, Breul & Moustan, 2019].

Una buona rassegna delle tipologie di sistemi e di tecniche di interpretazione tradizionale della prova è consultabile sul testo di Cestari [Cestari, 1990], al quale si rimanda per gli approfondimenti.

Alla data di emissione della norma ISSMFE (1989), le tipologie di sistemi codificati internazionalmente e le loro caratteristiche furono riassunte nella sua tabella 1 e riguardavano, oltre ai citati sistemi “*pesanti*”, sistemi “*leggeri*” quali il DPL (Dynamic Probing Light) e il DPM (Dynamic Probing Medium). Altre normative di carattere nazionale sono rintracciabili in letteratura [es.: DIN 4094].

Un'immagine semplificativa di un sistema Dynamic Probing è riportata nella Figura 1 [FHWA, 2002].

L'interpretazione tradizionale delle prove DP

ISSMFE istituisce le seguenti grandezze ed equazioni a carattere energetico:

$$r_d = \frac{M g H}{A e}$$

$$q_d = \frac{M}{M + M'} \times \frac{M g H}{A e}$$

Dove (simbologia da norma):

- r_d e q_d = resistenze in Pa, KPa o MPa
- M, M' = massa del martello, massa dell'incudine e della batteria di aste (compresi sistemi di guida)
- H = altezza di caduta del maglio
- e = avanzamento (unitario) per colpo
- A = area di base della punta conica
- g = accelerazione di gravità.

Le prove DP sono tradizionalmente interpretate con le consuete correlazioni empiriche della prova SPT, alla quale si rapportano attraverso ulteriori correlazioni empiriche $DP \Rightarrow SPT$, in funzione, sia del sistema utilizzato sia delle condizioni geotecniche nelle quali sono state eseguite.

Oltre a non essere quasi mai fisicamente basate, tali

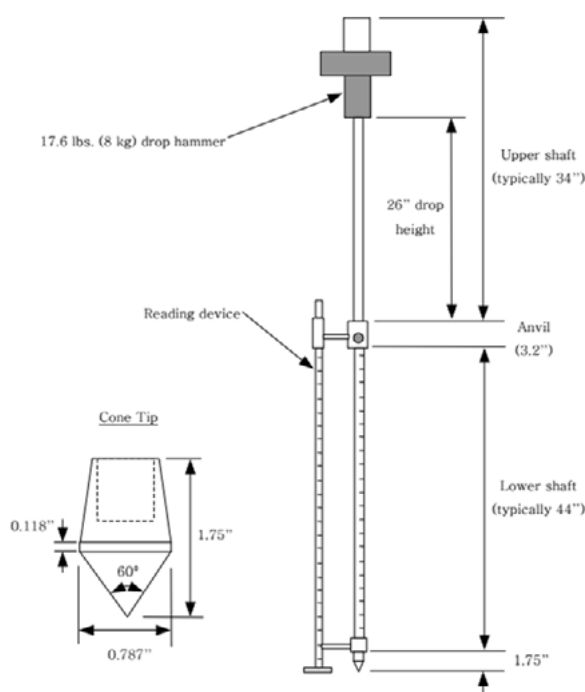


Figura 1 - Esempio di sistema Dynamic Cone Penetration Test [FHWA, 2002]

correlazioni, eseguite in serie, possono portare a notevoli misinterpretazioni del dato ricercato (normalmente di resistenza geotecnica).

Usualmente, nel migliore dei casi, per tenere in conto delle differenti tipologie di prove e relative caratteristiche, il passaggio DP $\Rightarrow$ SPT è gestito attraverso il seguente coefficiente correttivo (simboli come da “*Simbologia e Definizioni*”):

[a]

$$N_{SPT} = C_f \times N_{DP}$$

[b]

$$C_f = \frac{w_{h,DP} \ h_{DP} \ l_{DP} \ A_{p,DP}}{w_{h,SPT} \ h_{SPT} \ l_{SPT} \ A_{p,SPT}}$$

Dove:

- w_h , h , l , A_p = peso del maglio, altezza di caduta del maglio, avanzamento o passo di lettura, area della

punta del sistema di cui al pedice.

- Nel coefficiente C_f è contenuta quindi un'equivalenza energetica tra i due sistemi DP e SPT; a meno del fattore A_p , il coefficiente rappresenta il rapporto tra l'energia di avanzamento nella prova DP e in quella SPT.

Alternativamente, è possibile ricavare la resistenza dinamica alla punta R_{DP} in funzione del numero dei colpi N_{DP} per uno specifico avanzamento, ossia con la cosiddetta formula “olandese”:

[c]

$$R_{DP} = \frac{m_{h,DP}^2 \ h_{DP}}{A_{DP} \ \delta_{DP} \ (m_h + m_{har})g} = \frac{m_{h,DP}^2 \ h_{DP} \ N_{DP}}{A_{DP} \ l_{DP} \ (m_h + m_{har})g}$$

Le formule [a] , [b], [c] per quanto rappresentino un approccio sostanzialmente razionale (non empirico), non considerano [Frolidi, A, B, 2023; Frolidi, C, 1, 2, 3, 4, 5, 2024]:

1. Il peso di volume della colonna di terreno sovrastante

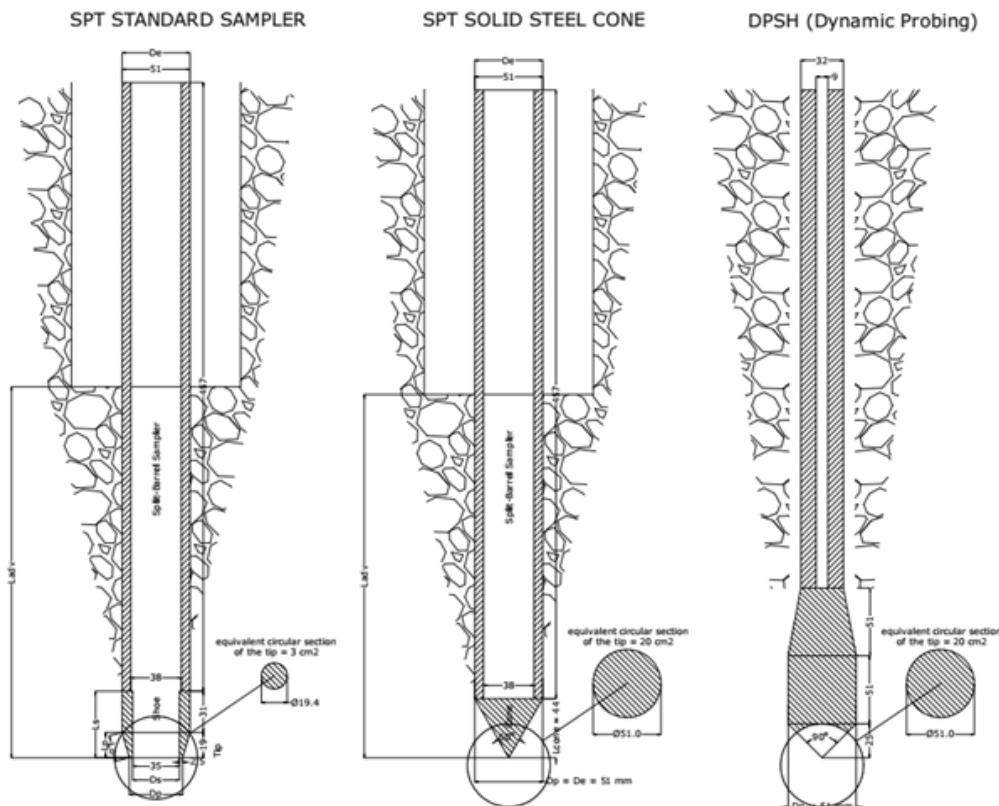


Figura 2 - Confronto tra gli utensili di avanzamento nelle prove SPT e DP (caso DPH)

la prova, la profondità della stessa e della falda, proprietà che determinano lo stato tensionale nelle cui condizioni avviene la rottura plastica data dall'avanzamento della punta;

2. la sostanziale differenza tra la meccanica dell'avanzamento SPT, sia con punta aperta (campionatore standard tipo Raymond) sia con punta chiusa (conica a 60°); si deve osservare che nel caso della prova SPT l'utensile offre resistenza sia con lo sviluppo dell'adesione laterale al mantello sia con la resistenza di punta;
3. gli effetti di rimbalzo elastico connessi alle forze elastiche non dissipative che non intervengono nell'avanzamento plastico e quindi non "utili" nella lettura di N.

Per quanto appena citato, tali formule sono approssimate e quindi non possono che rappresentare un primo approccio al processo di interpretazione fisico-meccanico delle prove DP, dovendosi per forza attenersi ad una procedura più razionale in grado di ottimizzare la determinazione dei parametri di interesse.

L'interpretazione razionale delle prove DP

L'interpretazione razionale delle prove DP consiste quindi nell'applicazione delle procedure già illustrate nel metodo SPT[®] [Froldi, A, B, 2023; Froldi, C, 1, 2, 3, 4, 5, 2024], adattata alla geometria delle differenti condizioni meccaniche delle prove DP rispetto alle SPT, ed in particolare:

- a. presenza di un mantello resistente lateralmente nelle prove DP molto ridotto
- b. minori dimensioni delle aste di trasferimento energetico
- c. presenza di una punta conica nelle prove DP (rispetto al campionario standard SPT)
- d. diverse e in genere minori dimensioni (salvo nella DPSH) e forma della punta DP (angolo 90°) nei confronti della punta chiusa SPT (angolo 60°)
- e. diverso e unico avanzamento (o passo di lettura) nelle prove DP (nelle SPT si leggono 3 avanzamenti).

Il confronto tra gli utensili di avanzamento SPT e DP (caso del DPSH) è illustrato nella figura 2.

In particolare, nel seguito del presente articolo, si approfondirà razionalmente il tema delle perdite elastiche della batteria di aste che, nel caso delle prove DP, possono rappresentare una riduzione significativa nell'efficienza dell'intero sistema.

Ciò in ragione del fatto che l'utensile di avanzamento, a differenza della SPT, non presenta resistenza laterale e quindi le perdite di efficienza principali sono relative, oltre che al sistema martello-incudine, al sistema di trasferimento energetico dalla sommità alla punta in avanzamento.

Per quanto riguarda la restante parte dell'interpretazione meccanica della prova, si rimanda alla lettura degli articoli precedenti [Froldi, A, B, 2023; Froldi, C, 1, 2, 3, 4, 5, 2024], in cui i principi e criteri generali sono applicabili, con le dovute differenze, anche alle prove dinamiche in continuo. Uno studio sperimentale particolarmente interessante e esaustivo sul rendimento del sistema hammer-anvil in differenti tipi di DP, è riportato in Matsumoto et Alii, 2015. Nello studio si determina, per la prova SPT e per 12 differenti tipi di DCPT, un'efficienza di trasferimento $\eta_{na} = 52 \div 76$ % (COV = 0.024÷0.265).

Rendimento della batteria delle aste

Descrizione del sottosistema

La batteria di aste è il sottosistema che, immediatamente dopo il sovrastante sistema martello-incudine, contribuisce a ridurre l'energia trasmessa al sistema di avanzamento costituito dalla punta.

ISSMFE, che ammette aste cave o piene, prescrive caratteristiche ben definite della aste in termini di geometria, resistenza dinamica e alla fatica ciclica, tenacità, ecc.; le principali caratteristiche di interesse per il presente lavoro sono le seguenti, espresse in funzione del sistema:

Caratteristica	DPL	DPM	DPH	DPSH
Peso massimo [kg/m]	3	6	6	8
Diametro esterno [mm]	22 ± 0.2	32 ± 0.3	32 ± 0.3	32 ± 0.3
Diametro interno [mm]	6 ± 0.2	9 ± 0.2	9 ± 0.2	-

Approccio teorico

La batteria di aste è soggetta all'impulso dinamico del maglio sull'incudine il cui valore energetico è funzione di:

- Altezza di caduta (h)
- Massa (m_{ha})
- Rendimento o efficienza del sistema martello-incudine (η_{ha})

La batteria di aste, soggetta alla forza statica equivalente indotta dall'impulso dinamico e vincolata alla sua estremità inferiore alla reazione dell'utensile di avanzamento, reagisce attraverso due meccanismi che possono essere contemporaneamente presenti:

- Compressione uniassiale elastica
- Instabilità elastica (vedi rod eccentricity, valore massimo ammesso da ISMMFE = 0.2 mm).

Il **primo fenomeno** presuppone un carico dinamico (e quindi anche statico) perfettamente centrato sull'asse di simmetria della sezione retta (di area solida A_r) delle aste; esso si traduce, in termini deformativi, in:

- Uno spostamento plastico (dissipativo) del sistema utensile-terreno (tool-soil system) alla base delle aste
- Un accorciamento elastico (non dissipativo) della batteria (di lunghezza L_r) esprimibile con la seguente:

[1]

$$\Delta L_r = \frac{FSE_{ts}}{K_r}$$

Dove:

- FSE_{ts} = forza statica equivalente reagente alla base del sistema utensile -terreno (tool-soil system)
- $K_r = E_r A_r / L_r$
- E_r = modulo di elasticità del materiale delle aste.
- Perché avvenga uno spostamento plastico del sistema di avanzamento (tool-soil system), deve essere:
- $FSE_{ts} < FSE_{ha}$ (con riferimento alla figura 3 sottostante $F_r < F_i$)

Dove:

- FSE_{ha} = forza statica equivalente agente sulla testa della batteria di aste (hammer-anvil system)
- $FSE_{ha} - FSE_{ts}$ = forza di lavoro per lo spostamento del sistema di avanzamento (forza motrice).

Lo schema statico al seguito chiarisce l'equilibrio dinamico della batteria di aste.

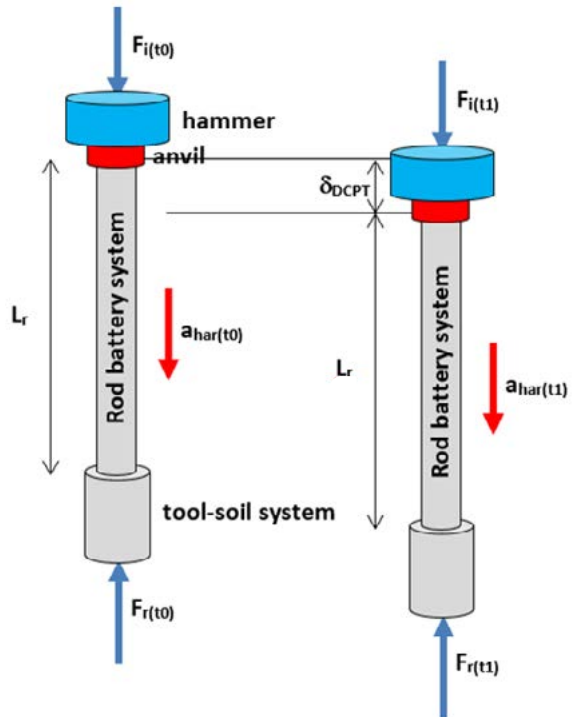


Figura 3 - Schema statico dell'equilibrio dinamico della batteria di aste

Il **secondo fenomeno** presuppone una asimmetria nel carico dinamico (e quindi anche statico) che origina un momento flettente nella batteria di aste in funzione del grado di vincolo superiore e inferiore; nella presente trattazione non viene considerato poiché si ritiene che la sua previsione sia complessa e aleatoria e comunque possibile solo in corrispondenza di una snellezza complessiva della batteria piuttosto importante (i.e.: batteria lunga e aste sottili e cave).

Possono inoltre esistere **fenomeni di perdita di efficienza** per le seguenti cause:

- Restringimenti del foro sulle aste sopra la punta di avanzamento; nel caso di terreni coesivi è necessario porre grande attenzione a fenomeni di attrito lungo la batteria di aste, che potrebbero inficiare l'interpretazione della prova [ISSMFE, 1989]; per evitare tali attriti generalmente, tra il diametro del foro (ossia della punta) e delle aste, esiste un'intercapedine di circa 1 cm. Inoltre, la normativa ISO [ISO, 2002] per misurare o evitare gli attriti lungo le aste prescrive le seguenti operazioni tra loro alternative:
 - misurazione degli attriti:** misurazione sistematica durante l'avanzamento della coppia torcente

sulla batteria di aste per il calcolo del coefficiente di attrito laterale

2. **eliminazione degli attriti** attraverso l'uso di fanghi di circolazione

3. **eliminazione degli attriti** attraverso l'uso di una batteria di rivestimento delle aste.

b. Attriti dovuti alla flessione delle aste (*"flambage"*) e alla loro deviazione dalla verticale; per evitare tale ultimo fenomeno il sistema incudine-batterie di aste non deve avere disassamenti maggiori di 0.2% della sua lunghezza [ISSMAFE, 1989]

c. Altri fenomeni (per es.: fenomeni di risonanza nei treni d'onda che si propagano nelle aste, ecc.).

Nel seguito sarà quindi esaminata la sola efficienza in funzione dell'accorciamento elastico delle aste.

L'equazione di equilibrio dinamico del sistema complessivo DCPT, dedotta dallo schema di corpo libero prima illustrato (*free body diagram*), che contraddistinguiamo con il pedice "har" (hammer+anvil+rods, trascurando la massa della punta di avanzamento) può essere formulata come segue:

[2]

$$F_i(t) - F_r(t) = m_{har} * a_{har} = m_{har} * \frac{dv_{har}(t)}{dt} = m_{har} * v_{har}(t) \frac{dv_{har}(t)}{dl}$$

Dove:

$F_i(t)$ = forza agente sulla sommità della batteria di aste al tempo t

$F_r(t)$ = forza resistente alla base della punta al tempo t

m_{har} = massa del sistema complessivo hammer+anvil+rods

$a_{har}(t)$ = accelerazione del sistema complessivo hammer+anvil+rods = $v_{har} dv_{har}/dl$, con "dl" lo spostamento infinitesimo in direzione verticale

$v_{har}(t)$ = velocità del sistema complessivo hammer+anvil+rods.

Per ottenere il lavoro "utile", dato dall'avanzamento della punta nel terreno, occorre la seguente integrazione (nella variabile infinitesima "dl") dell'equazione differenziale sopra espressa:

[3]

$$\int_0^{\delta_{DCPT}} \{F_i(t) - F_r(t)\} dl = \int_0^{v_{har}} m_{har} * v_{har}(t) dv_{har}(t) =$$

$$= m_{har} * \int_0^{v_{har}} v_{har}(t) dv_{har}(t)$$

[3 bis]

$$\{F_i(t) - F_r(t)\} \delta_{DCPT} = m_{har} * \frac{1}{2} v_{har}^2(t)$$

L'equazione primitiva ottenuta esprime l'equilibrio dinamico del sistema in funzione della sua velocità.

Se non si considerano i possibili rimbalzi elastici del martello (o maglio) sull'incudine (ipotesi semplificativa), la velocità iniziale del sistema al tempo t_0 è ricavabile con il teorema dell'impulso o della variazione della quantità di moto di un sistema di particelle rigide:

$$m_h * (0 - \sqrt{2gh * \eta_{ha}}) = m_{har} * (0 - v_{har}(t_0))$$

NB = si attribuisce η_{ha} al solo sottosistema "martello".

Pertanto:

[4]

$$v_{har}(t_0) = \frac{m_h * \sqrt{2gh * \eta_{ha}}}{m_{har}}$$

Mentre la velocità finale al tempo t_1 sarà nulla, essendo finita la penetrazione plastica della punta nel terreno:

[4 bis]

$$v_{har}(t_1) = 0$$

Sostituendo la [4] e la [4 bis] nella [3 bis], si ottengono le seguenti condizioni particolari ai due estremi dell'intervallo temporale descritto tra il momento o tempo di primo contatto del maglio sull'incudine (t_0) e l'ultimo istante della corsa della punta di penetrazione nel terreno (t_1) o istante di fine spostamento plastico:

$$t_0 \text{ (inizio corsa)} \Rightarrow \begin{cases} v_{har}(t_0) = \frac{m_h * \sqrt{2gh * \eta_{ha}}}{m_{har}} \\ a_{har}(t_0) = \max \\ \{F_i(t_1) - F_r(t_0)\} \delta_{DCPT} = \frac{m_h^2 (gh * \eta_{ha})}{m_{har}} \end{cases}$$

$$t_1 \text{ (fine corsa)} \Rightarrow \begin{cases} v_{har}(t_1) = 0 \\ a_{har}(t_1) = 0 \\ \{F_i(t_1) - F_r(t_0)\} \delta_{DCPT} = 0 \Rightarrow F_i(t_1) = F_r(t_0) = g m_{har} \end{cases}$$

Analizzando il sistema dal punto di vista energetico, si può invece scrivere il seguente bilancio:

[5]

$$(E_c * \eta_{ha}) - E_{e,r} - (E_{e,tip-soil} + E_{d,tip-soil}) = 0$$

Dove:

- $E_c = \frac{1}{2} m_h v_h^2(t=0) = \frac{1}{2} m_h 2gh$ = energia cinetica del maglio all'istante t_0 = energia potenziale
- $E_{e,r}$ = energia elastica (non dissipativa) immagazzinata nella batteria delle aste (e restituito a fine corsa)
- $E_{e,tip-soil}$ = energia elastica (non dissipativa) immagazzinata nel sistema punta-terreno (tip-soil)
- $E_{d,tip-soil}$ = energia plastica (dissipativa) consumata nell'avanzamento del sistema punta-terreno (tip-soil).

Per determinare il termine $E_{e,r}$ nel caso della batteria di aste, si può idealmente considerarne un accorciamento elastico perfettamente lineare (restando in campo elastico), in cui il lavoro totale (U_r) compiuto dal carico resistente o energia di deformazione elastica delle aste, è pari (in funzione di un accorciamento infinitesimo "dl") a:

[6]

$$E_{e,r} = U_r = \int_0^{\Delta L_r} F_m dl = \int_0^{\Delta L_r} K_r \Delta L_r dl = \frac{1}{2} K_r \Delta L_r^2 = \frac{1}{2} F_m \Delta L_r$$

L'energia di deformazione elastica (non dissipativa) U_r è immagazzinata nella batteria durante la penetrazione media unitaria (unitary insertion) competente alla specifica prova, la quale vale:

[7]

$$\delta_{DCPT} = \frac{I_{DCPT}}{N_{DCPT}}$$

I_{DCPT} = lunghezza di penetrazione misurata della specifica prova [m]

N_{DCPT} = numero di colpi nella penetrazione della specifica prova [-].

Tale energia elastica, poiché non dissipativa, è restituita sotto forma di rimbalzo elastico al sistema martello-incudine e quindi sottratta all'energia disponibile al sistema utensile-terreno.

Pertanto, se si prescinde dall'evoluzione energetica del sistema e dalle variazioni nelle componenti del suo bilancio, considerando una forza media interpolata linearmente

tra i valori nei due estremi temporali (t_0 e t_1), trascurando il fattore di riduzione per energia elastica al sistema di avanzamento (R_s) in quanto non interveniente nel calcolo delle forze, e introducendo al secondo termine la [1], la [5] diviene:

[8]

$$(m_h gh * \eta_{ha}) - \frac{1}{2} F_m \Delta L_r - (F_m + m_{har} g) * \delta_{DCPT} = 0$$

[8 bis]

$$\frac{1}{2} F_m \left(\frac{F_m}{K_r} \right) = \frac{1}{2} \frac{F_m^2}{K_r} = (m_h gh * \eta_{ha}) - (F_m + m_{har} g) * \delta_{DCPT}$$

Si può assumere senza rilevanti errori:

m_a = massa dell'incudine = 0 (trascurabile)

Il secondo termine della [8] rappresenta l'energia elastica immagazzinata nella batteria delle aste ($E_{e,r}$) soggetta, come detto, ad essere restituita al sistema senza dissipazione e quindi non utile all'avanzamento plastico dell'utensile di penetrazione.

E' evidente che la [8 bis] non si può risolvere esplicitamente a priori poiché il valore di F_m dipende a sua volta dal rendimento della batteria di aste. L'equazione implicita è quindi indeterminata a meno di ricorrere ad un calcolo iterativo.

Quindi la determinazione del valore di F_m esige la risoluzione della [8 bis] attraverso un calcolo iterativo basato sulla variazione di F_m fino al valore che rende vera l'uguaglianza.

Infine il rendimento energetico della batteria di aste, per il fenomeno dell'accorciamento elastico, è dato da:

$$[9] \quad \eta_r = \frac{(m_h gh * \eta_{har}) - \frac{1}{2} \frac{F_m^2}{K_r}}{(m_h gh * \eta_{har})}$$

Quindi, per uno stesso sistema di battuta, il rendimento delle aste è funzione anche di:

[10]

$$\eta_r = f(F_m, K_r)$$

A titolo esemplificativo, nella successiva figura si riportano i grafici (Figura 4) dei risultati di calcolo di rendimento, in funzione della lunghezza delle aste, per due differenti condizioni in un sistema DPSH, sviluppati con l'appena illustrato criterio energetico, in corrispondenza di

un'efficienza del sistema martello-incudine pari all'80%. Si osserva, come atteso anche intuitivamente, che nel caso 1 (linea blu), in cui il valore di N_{DCPT} è più elevato (15) e quindi il terreno più resistente alla penetrazione (e anche più rigido), il rendimento ottenuto della batteria di aste è inferiore a quello del caso 2 (linea arancio) ($N_{DCPT} = 5$), dove l'accorciamento delle stesse (e quindi la perdita per forze elastiche non dissipative) è mitigato da una maggiore dissipazione energetica causata da una minore resistenza del terreno (e quindi da una penetrazione plastica maggiore).

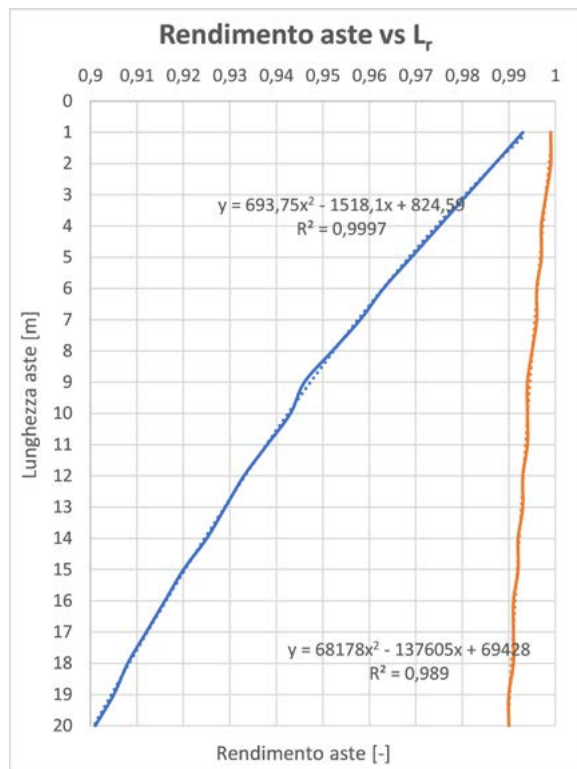


Figura 4 - Rendimenti della batteria di aste nei casi 1 (linea blu) e 2 (linea arancio)

Si conclude che il rendimento della batteria è funzione di molteplici fattori e soprattutto della risposta meccanica del terreno di base, non potendosi quindi racchiudere in soluzioni empiriche omnivalenti, nelle quali tali fattori sono indistinti e non governabili.

La misura sperimentale del rendimento della batteria delle aste con la profondità

Gli studi sperimentali del rendimento della batteria di aste nelle prove penetrometriche, inteso separatamente alla restante parte del sistema, sono stati sviluppati prevalentemente per le prove SPT da numerosi autori [Morgano & Liang, 1992; Goble & Aboumatar, 1992; Rodrigues et Alii, 2008; Cavalcante et Alii, 2011; ecc.]; una rassegna dei principali risultati ottenuti è esposta in Frolidi, A e Frolidi, 1. Diversamente non sono reperibili studi specifici su tale rendimento nel caso delle prove DCPT.

Ciononostante i principi fisico-meccanici che governano i complessi fenomeni che causano perdite energetiche nelle batterie di aste sono sostanzialmente gli stessi per entrambe le prove.

Pertanto si può fare riferimento a quanto già illustrato in merito.

Conclusioni

Nel presente articolo sono illustrate le principali caratteristiche delle prove penetrometriche dinamiche continue DP e loro differenze con la prova SPT, la quale si basa sugli stessi principi di funzionamento.

Nello specifico si illustra una procedura di calcolo razionale per la stima delle perdite energetiche indotte dalla batteria di aste, che nelle prove DP possono ridurre significativamente l'efficienza del sistema essendo quelle preponderanti dopo quelle del sistema di battuta martello-incudine.

L'illustrazione della procedura di calcolo è accompagnata da un esempio illustrativo che ne dimostra la validità e percorribilità.

Ulteriori approfondimenti e verifiche troveranno posto in un nuovo articolo di prossima uscita.

Bibliografia

1. Frolidi Piergiuseppe, A (2023): La prova SPT (Standard Penetration Test): basi teoriche e interpretazione energetica dinamica del test. Ingenio WEB, 12 dicembre 2023. <https://www.ingenio-web.it/articoli/la-prova-spt-standard-penetration-test-basi-teoriche-e-interpretazione-energetica-dinamica-del-test/>
2. Frolidi Piergiuseppe, B (2023): La prova SPT (Standard Penetration Test): dall'energia dinamica alla Forza Statica Equivalente. Ingenio WEB, 19 dicembre 2023. <https://www.ingenio-web.it/articoli/la-prova-spt-standard-penetration-test-dall-energia-dinamica-alla-forza-statica-equivalente/>
3. Frolidi Piergiuseppe C, (2024): La prova SPT (Standard Penetration Test): le perdite energetiche per forze non dissipative. Ingenio WEB, 19 dicembre 2023. <https://www.ingenio-web.it/articoli/>

- la-prova-spt-standard-penetration-test-le-perdite-energetiche-per-forze-non-dissipative/
4. Frolidi Piergiuseppe, 1 (2024): The Rational interpretation of the SPT (Standard Penetration Test). Researchgate.net, 29/02/2024.
 5. Frolidi Piergiuseppe, 2 (2024): Developments of the Rational interpretation of the SPT (Standard Penetration Test). Researchgate.net, 30/03/2024.
 6. Frolidi Piergiuseppe, 3 (2024): The Rational interpretation of the SPT (Standard Penetration Test) with the solid steel cone at 60°. Researchgate.net, 21/07/2024.
 7. Frolidi Piergiuseppe, 4 (2024): Determining Friction Ratio with the Rational interpretation of the SPT. Researchgate.net, 22/08/2024.
 8. Frolidi Piergiuseppe, 5 (2024): Geotechnical characterization of soils with the FrictionRatio from the Rational SPT (SPT^R). Researchgate.net, 28/11/2024.
 9. Benz-Navarrete, M.A., Breul, P. & Moustan, P. (2019): Servo-Assisted and Computer-Controlled Variable Energy Dynamic Super Heavy Penetrometer. Geotechnical engineering in the XXI Century: lesson learned and future challenges.
 10. Cavalcante, E.H., Danziger, B.R. and Danziger F.A.B (2011): Measurement of Drop Height and Impact Velocity in the Brazilian SPT System. Soils and Rocks, Sao Paulo, 34(2): 207÷218.
 11. Cestari, F. (1990): Prove Geotecniche in sito. Ed GEO-GRAPH s.n.c. Segrate, 1990.
 12. FHWA (2002): Dynamic Cone Penetration Test (DCPT) for Subgrade Assessment. Final Report. FHWA/IN/JTRP-2002/30. Joint Transportation Research Program 1284 Civil Engineering Building Purdue University West Lafayette, IN 47907-1284
 13. Goble, G.G. & Aboumatar, H. (1992): Determination of wave equation soil constants from the Standard Penetration Test. Application of Stress Theory to Piles. F.B.J. Berends Ed. Balkema, Rotterdam.
 14. Herrick, J.E. & Jones, T.L. (2002): A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. Dep. Of Agronomy and Horticulture, New Mexico State University.
 15. ISO (2002): Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 2: Dynamic probing (ISO/DIS 22476-2:2002)
 16. ISSMFE (1989): Report of the ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing of Soils - TC 16 with Reference Test Procedures. SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE
 17. Matsumoto, T., Ta Phan, L., Oshima, A. and Shimono, S. (2015): Measurement of driving energy in SPT and various dynamic cone penetration tests. Soil and Foundations. 55(1), 201÷212.
 18. Morgano, C.M. & Liang, R. (1992): Energy transfer in SPT – Rod Length effect. Application of Stress-Wave Theory to Piles. F.B.J. Barends (ed). Balkema, Rotterdam.
 19. Rodrigues, C., Cavalcante, E.H., Danziger, B.R. and Viana da Fonseca, A. (2008): Influence of rod type in SPT efficiency. Science, Technology and Practice, Jaime Alberto dos Santos (ed). Pp. 731÷736.
 20. Sowers, G.F. & Hedges, C.F. (1966): Dynamic Cone for Shallow In-Situ Penetration Testing. ASTM, 1966.
 21. Tolia, D.D. (1977): Interpretation of dynamic cone penetration tests. Soil Mechanics Division, central Road Research Institute. New Delhi, India.
 22. Vanags, C., Minasny, B. & McBratney, A.B. (2004): The dynamic penetrometer for assessment of soil mechanical resistance. Supersoil 2004: 3rd Australian New Zealand soils Conference, 5-9 December 2004, University of Sidney, Australia.



valsir®
QUALITÀ PER L'IDRAULICA

AQUANEST: la soluzione innovativa per la gestione sostenibile delle acque meteoriche

Aquanest è un sistema modulare (SUdS) per la gestione sostenibile delle acque meteoriche in ambito urbano. I moduli drenanti favoriscono l'infiltrazione, il rallentamento e la ritenzione delle acque piovane, riducendo l'impatto delle precipitazioni più intense sulle infrastrutture.

Fedele al principio dell'invarianza idraulica, Aquanest tutela la naturale capacità del suolo di regolare il deflusso delle acque, mantenendolo anche in contesti di intensa urbanizzazione entro limiti di sicurezza, prevenendo allagamenti e sovraccarico della rete fognaria.

I moduli, efficienti e versatili, sono facili da installare e adattabili a diversi progetti. Realizzati con materiali resistenti (polipropilene riciclato e cariche minerali), assicurano lunga durata (oltre 50 anni) e azzerano i costi di manutenzione.

In un'epoca di cambiamenti climatici ed eventi meteorologici estremi, Aquanest contribuisce alla resilienza urbana, gestendo efficacemente grandi volumi d'acqua e prevenendo potenziali danni a cose e persone. Il sistema favorisce inoltre il ciclo dell'acqua riducendo il carico sui sistemi fognari.

Aquanest ha un elevato coefficiente di resa vuoto/pieno (96%) e resiste a carichi pesanti (60 tonnellate). Il sistema di aggancio dei moduli garantisce estrema stabilità nel tempo e facilita le ispezioni. La geometria dei moduli ha notevoli vantaggi anche sul piano logistico, semplificando il trasporto degli elementi.

Aquanest è ideale per realizzare bacini disperdenti, vasche di accumulo e di laminazione.



TENSIOATTIVI PER LA RIMOZIONE DEI PFAS

George (Bud) Ivey, Ivey International Inc | Dr. David Holmes, Geosyntec (UK) | Dr. Cecilia MacLeod, Università di Greenwich (UK) | Ing. Claudio Sandrone, BAW s.r.l.

I TEST DIMOSTRANO CHE LA TECNOLOGIA A BASE DI TENSIOATTIVI È EFFICACE NEL RIMUOVERE I PFAS DA SUOLO E ACQUE SOTTERRANEE

Negli ultimi anni, diverse grandi aziende tra cui 3M, DuPont e Chemours (una spinoff di DuPont), hanno raggiunto importanti accordi con governi municipali e altri soggetti, impegnandosi a spendere miliardi di dollari per rimuovere i PFAS dai loro processi produttivi, dai prodotti e dall'ambiente. Una parte considerevole di questi fondi sarà destinata all'efficientamento degli impianti di trattamento acque per rimuovere i PFAS dalle forniture di acqua potabile. Tuttavia, una somma significativa sarà anche necessaria per bonificare terreni, substrati rocciosi e acque sotterranee contaminate dai PFAS. I potenziali mercati interessati alla bonifica dei PFAS sono numerosi, spaziando dalla produzione di prodotti chimici alla produzione di energia elettrica, al trattamento delle acque reflue, allo sviluppo immobiliare, alla distribuzione di carburanti, alla coltivazione delle discariche, all'estrazione mineraria, alla gestione dei porti e tanti altri ancora (Environmental Business Journal, Vol. XXXII, N. 5/6, 2019). Tutti questi settori si troveranno ad affrontare significative passività future man mano che le normative e la consapevolezza pubblica sui PFAS cresceranno e si intensificheranno. Tuttavia, anche gli stessi appaltatori incaricati per la bonifica potranno dover affrontare simili passività se le loro soluzioni di bonifica dei PFAS non risultassero adeguate. La soluzione tradizionale di "Pump&Treat", che viene applicata per la bonifica delle acque sotterranee contaminate dai PFAS, è costosa e può richiedere decenni per ottenere livelli significativi di rimozione. Inoltre, la contaminazione presente nella zona più mobile e ad alta permeabilità dell'acquifero può migrare nelle zone a bassa permeabilità, e il pompaggio e il trattamento non sono efficaci per rimuovere la contaminazione da queste zone. Ciò può comportare futuri rilasci e fenomeni di "back-diffusion" verso la zona ad alta permeabilità, con conseguente mancato rispetto degli standard normativi. Alcuni metodi di rimozione chimici e biologici sono in fase di test, ma non sono emersi per il momento risultati soddisfacenti. L'estrazione con solvente a base di metanolo è stata utilizzata in laboratorio per l'estrazione dei PFAS dal suolo ed in alcuni test su piccola scala. Tuttavia, è improbabile che le autorità potranno approvare l'iniezione di molti di questi reagenti chimici impattanti nel sottosuolo.

Una potenziale soluzione, però, si è dimostrata efficace in test svolti recentemente: Ivey International Inc. (IVEY), rappresentata in Italia da BAW s.r.l., ha sviluppato una nuova formulazione derivata dalla sua tecnologia di bonifica avanzata Ivey-sol® (SER) per affrontare la contaminazione da PFAS nelle acque sotterranee, nel suolo e nei substrati rocciosi.

I test sulla formulazione PFAS-SOL® condotti nel Regno Unito (UK) in collaborazione con l'Università di Greenwich, con analisi svolte presso i laboratori ALS, hanno mostrato significativi tassi di rimozione della massa di PFAS. La formulazione utilizzata è non tossica, biodegradabile e a pH neutro. Si basa su formulazioni non ioniche, con un additivo innovativo che può desorbire selettivamente i contaminanti e rendere i liquidi globulari, e i liquidi presenti in fase libera non acquosa (NAPL), solubili in fase liquida. Ciò porta alla formazione di una miscela non emulsionata con l'acqua, che facilita la gestione e la rimozione dei PFAS dal suolo contaminato, dai substrati rocciosi fratturati, dalle acque sotterranee e dalle acque superficiali, mantenendo il controllo del pennacchio di contaminazione. La struttura del tensioattivo PFAS-SOL consiste in una testa idrofila e una coda idrofoba. La coda idrofoba è selettivamente attratta dai gruppi funzionali organici

delle molecole dei contaminanti bersaglio, mentre la testa idrofila è attratta dalle acque sotterranee.

Grazie a tale struttura modulata, questi tensioattivi offrono diverse proprietà che migliorano l'efficacia della maggior parte delle strategie di bonifica, principalmente superando i limiti legati all'assorbimento e alla bassa solubilità dei contaminanti. Inoltre, riducono la tensione superficiale relativa dell'acqua e superano la tensione interfacciale, migliorando così le proprietà idrauliche e di bagnabilità di un maggior numero di litologie.

PFAS-SOL può rimuovere selettivamente i PFAS dalle superfici assorbenti di terreno e di roccia, dalle fasi globulari e/o stratificate non acquose (NAPL), rendendoli più disponibili per una bonifica fisica, biologica e/o chimica avanzata.

Per i test in colonna, colonne di un metro per 14 centimetri di diametro sono state riempite con sabbia minerale, con il 10% di carbone attivo per simulare il contenuto naturale di carbonio organico assorbente nel suolo. Le colonne sono state poi lentamente saturate con acqua dalla base e drenate fino a un volume prestabilito. Sono state successivamente contaminate con 250 mg ciascuna di PFOA e PFOS per simulare una zona sorgente di PFAS e poi drenate e riempite, e l'effluente campionato per misurare il recupero dei contaminanti nell'acqua.

Le colonne sono state riempite di nuovo, una con metanolo al 50% in acqua, l'altra con la formulazione del tensioattivo PFAS-SOL al 4%. Successivamente sono state drenate e si è osservato un grande aumento della concentrazione di PFAS nell'effluente della colonna contenente PFAS-SOL. Le colonne sono state poi smontate lentamente per ottenere un profilo di umidità e prelevare campioni di suolo per misurare i PFAS trattenuti.

I risultati hanno mostrato una significativa rimozione di massa di PFAS dai lavaggi con PFAS-SOL. I lavaggi con sola acqua hanno recuperato circa 5 microgrammi per litro (µg/L) di PFAS, mentre i lavaggi con tensioattivi hanno mostrato un recupero maggiore, fino a 30,45 µg/L, il che significa un recupero di PFAS migliorato del 240%, con picchi di concentrazione significativamente superiori, fino al 622%. Il recupero di PFOA è stato mediamente pari al 160%, con i migliori risultati pari al 185%. Il recupero di PFOS è stato mediamente pari al 297%, con i migliori risultati pari al 732%. Il recupero totale di PFAS è stato mediamente pari al 242%, con i migliori risultati pari al 622%.

Test successivi hanno mostrato risultati altrettanto significativi, suggerendo un futuro promettente per questa tecnologia di bonifica a base di tensioattivi, rispetto ad altri metodi che sono dispendiosi in termini di tempo e costi, e che non garantiscono la protezione contro i rischi di "back-diffusion" e le passività future associate, ad esempio, all'impiego di tecnologie con materiali assorbenti.

Ivey International Inc. ha vinto il premio M&A Today Global Awards 2023 "Migliore azienda tecnologica ambientale" quale riconoscimento dei suoi sviluppi tecnologici innovativi.



 **KELLER**

KELLER PRESSURE

THE ORIGINAL SINCE 1974



KELLER QUALITY

- Piezoresistive pressure measurement technology of the highest quality
- Pressure sensors with maximum accuracy
- Half a century of experience
- Unique measuring and testing expertise
- Custom Solutions
- Swiss Made

keller-pressure.com

