

# GEOLOGICAMENTE

MAGAZINE DI ATTUALITÀ E CULTURA DELLE GEOSCIENZE  
Periodico della Società Geologica Italiana  
n. 16 | marzo 2025

**SULLE TRACCE DI**  
Carlo Ippolito Migliorini  
e Roberto Signorini,  
un 'ritorno al futuro'  
nella geologia italiana  
del XX secolo

**UN'ESCURSIONE  
GEOLOGICA**  
sul fondovalle  
valtellinese

**LA DIGITALIZZAZIONE  
DEL PATRIMONIO  
GEOLOGICO E  
GEOMORFOLOGICO:**  
esempi italiani dal  
progetto UNESCO IGCP 714

**TUTTO È  
INTERAZIONE:**  
racconti dalla Zona Critica



**SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA** ETS

FONDATA NEL 1881 • ENTE MORALE R. D. 17 OTTOBRE 1885



Direzione generale  
Educazione, ricerca  
e istituti culturali

Le attività sono realizzate grazie al  
contributo concesso dalla Direzione  
generale Educazione, ricerca e istituti  
culturali del Ministero della Cultura

# Marine Hazard

## Un osservatorio scientifico a 3.500 metri di profondità.

Photo: Jeremy Bishop-Unsplash



Codevintec ha fornito la sonda multi-parametrica RBR Concerto<sup>3</sup> CTD e il sistema sismico Nanometrics OBS Ocean Bottom Seismometer.

*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.*

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

# AQUANEST



Resiste a carichi fino a 60 tonnellate



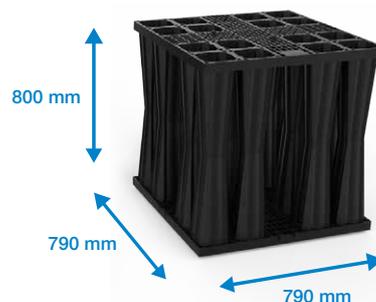
Garantito oltre 50 anni



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.

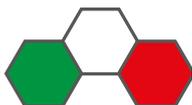
I moduli sono realizzati in polipropilene riciclato (in conformità al Decreto CAM). Rispetto alle soluzioni in calcestruzzo, non risentono dell'azione dell'umidità e del contatto con l'acqua, garantendo una longevità superiore ai 50 anni!

Seguici su:



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

MADE IN ITALY



**valsir**<sup>®</sup>  
QUALITÀ PER L'IDRAULICA

# GEOLOGICAMENTE

MAGAZINE DI ATTUALITÀ E CULTURA DELLE GEOSCIENZE

## CONTRIBUTI

- P. 8** SULLE TRACCE DI  
*Carlo Ippolito Migliorini  
e Roberto Signorini,  
un 'ritorno al futuro'  
nella geologia italiana  
del XX secolo*
- P. 20** UN'ESCURSIONE  
GEOLOGICA  
*sul fondovalle  
valtellinese*
- P. 30** LA DIGITALIZZAZIONE  
DEL PATRIMONIO  
GEOLOGICO E  
GEOMORFOLOGICO:  
*esempi italiani dal progetto  
UNESCO IGCP 714*
- P. 40** TUTTO È  
INTERAZIONE:  
*racconti dalla  
Zona Critica*

## ASSOCIAZIONI

- P. 52** *Associazione Italiana  
PER LO STUDIO  
DEL QUATERNARIO*
- P. 54** *Società  
GEOCHIMICA  
Italiana*
- P. 56** *Associazione Italiana  
DI GEOGRAFIA FISICA  
E GEOMORFOLOGIA*
- P. 58** *Società  
PALEONTOLOGICA  
Italiana*
- P. 60** *Associazione Nazionale  
INSEGNANTI  
SCIENZE NATURALI*
- P. 62** *Associazione Italiana  
DI VULCANOLOGIA*
- P. 64** *Associazione  
PALEONTOLOGICA  
PALEOARTISTICA  
Italiana*

## SEZIONI

- P. 66** *Storia delle  
GEOSCIENZE*
- P. 67** *GEOLOGIA  
Himalayana*
- P. 68** *GEOSCIENZE  
e Tecnologie  
Informatiche*
- P. 69** *GEOLOGIA  
Strutturale*
- P. 70** *GEOETICA  
e Cultura Geologica*
- P. 71** *MATERIE PRIME  
STRATEGICHE  
e valorizzazione dei  
giacimenti minerali*
- P. 72** *GEOLOGIA  
Ambientale*
- P. 73** *GEOsed*
- P. 74** *GEOLOGIA  
Marina*
- P. 75** *GEOLOGIA  
Planetaria*

Rivista quadrimestrale SGI - Società Geologica Italiana | Numero 16 | marzo 2025 | SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA | [www.geologicamente.it](http://www.geologicamente.it)  
Piazzale Aldo Moro 5, 00185 Roma | [www.socgeol.it](http://www.socgeol.it) | Tel: +39 06 83939366  
Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 34/2020 del Registro stampa del 24 marzo 2020

**DIRETTORE EDITORIALE** Enrico Capezuoli

**COMITATO EDITORIALE** Fabio Massimo Petti, Elena Bonaccorsi, Francesca Cifelli, Alessandro Danesi, Riccardo Fanti, Patrizia Fumagalli, Giulia Innamorati, Susanna Occhipinti, Domenico Sessa, Marco Chiari, Anna Giamborino, Eugenio Nicotra, Eleonora Regattieri, Orlando Vaselli, Simone Vezzoni e Maurizio Del Monte

**COORDINAMENTO SCIENTIFICO** Sandro Conticelli, Domenico Cosentino, Elisabetta Erba e Vincenzo Morra

**DIRETTORE RESPONSABILE** Alessandro Zuccari



Patrocinio  
oneroso



Le attività sono realizzate grazie al contributo  
concesso dalla Direzione generale Educazione,  
ricerca e istituti culturali del Ministero della Cultura

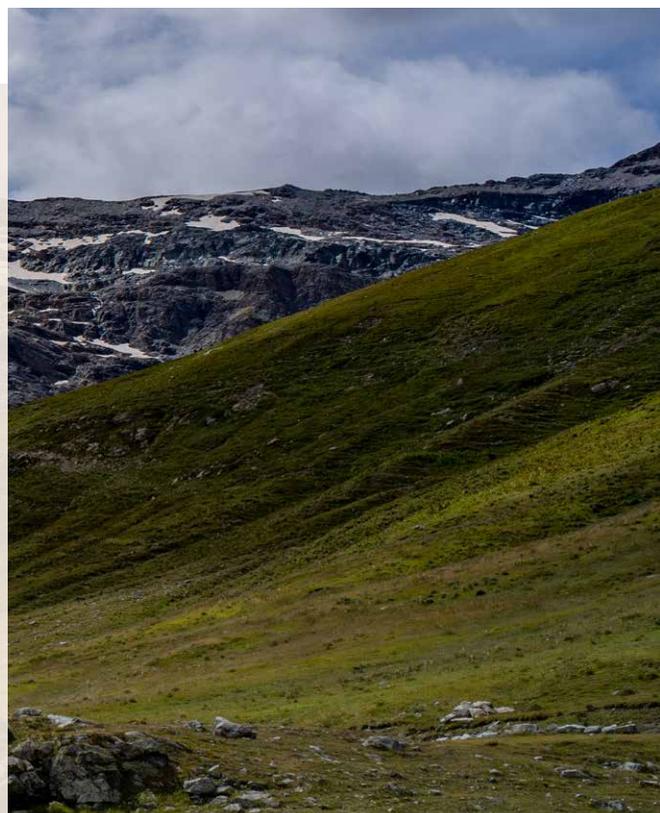
## NEWS

**P. 77** LA TRADUZIONE ITALIANA DI "EXPLORING GEOSCIENCES ACROSS THE GLOBE": un importante contributo alla Didattica delle Geoscienze

**P. 78** CONGRESSO CONGIUNTO SIMP-SGI PADOVA 2025 *Le Geoscienze e le sfide del XXI Secolo*

**P. 80** RICERCA DI BASE E RICERCA APPLICATA: *la Geologia come contributo ad un processo di produzione di beni sociali*

**P. 82** LA DIVISIONE DEI-PanGEA e la Giornata Internazionale delle Donne e delle Ragazze nella Scienza



VISITA IL SITO  
DELLA RIVISTA

**P. 7** EDITORIALE  
**P. 83** NUNTIIUM *de Lapidibus*  
**P. 85** INCONTRA GLI AUTORI  
**P. 86** MEMORIE DAL SOTTOSUOLO: *la miniera di Montecatini Val di Cecina*

GRAFICA, IMPAGINAZIONE E PUBBLICITÀ Agicom srl | Viale Caduti in Guerra, 28 - 00060 - Castelnuovo di Porto (RM) | Tel. 06 90 78 285 - Fax 06 90 79 256  
comunicazione@agicom.it | www.agicom.it

STAMPA Spadamedia | Viale del Lavoro, 31 - 00143 - Ciampino (RM)

Distribuzione ai soci della Società Geologica Italiana e delle società scientifiche associate e agli Enti e Amministrazioni interessati.

Gli articoli e le note firmate esprimono solo l'opinione dell'autore e non impegnano la Società Geologica Italiana né la Redazione del periodico.

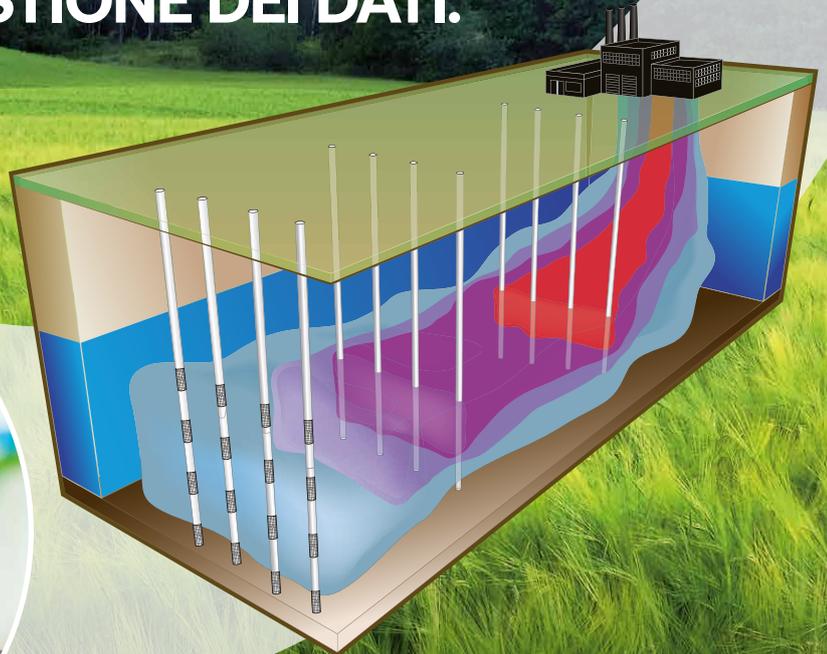
Immagine in copertina: La Punta Basei (3338 m s.l.m., sullo sfondo), con l'omonimo ghiacciaio ormai in forte ritiro, vista dall'Altopiano del Nivolet, non lontano dalla strumentazione fissa dell'Osservatorio della Zona Critica. Foto: Antonello Provenzale.

Immagini interne: freepik.com

Chiuso in Redazione: 17 marzo 2025

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

# EDITORIALE



## Rodolfo CAROSI

Presidente SGI - Società Geologica Italiana

Siamo arrivati al primo numero di Geologicamente del 2025, a cinque anni dall'uscita del primo numero che ha segnato la nascita di questa nuova rivista della SGI. Questo numero ospita gli aggiornamenti dei lavori preparatori del congresso congiunto SIMP-SGI che si terrà a Padova dal 15 al 18 settembre 2025. Si tratta di un appuntamento (ormai annuale) molto atteso e molto importante per le Società Scientifiche e per tutta la comunità geologica italiana (e non solo). I due Presidenti del congresso e i Comitati Organizzatore e Scientifico, con il contributo delle segreterie delle due Società, stanno lavorando a pieno ritmo e, nell'ambito delle otto tematiche proposte dal Comitato Scientifico, sono emerse 64 sessioni che coprono gli aspetti principali delle Scienze della Terra. È quindi il momento di iniziare a preparare il materiale per la sottomissione dei riassunti e organizzarsi per partecipare al congresso e alle interessantissime escursioni! Non dimentichiamoci che la geologia "naturale" è comunque il nostro punto di riferimento e la nostra forza anche se il Geologo utilizza tanti strumenti, anche modernissimi o "futuristici" come l'Intelligenza Artificiale. Il Geologo abbina tecniche e discipline diverse per spiegare e capire i fenomeni naturali per renderci sempre più consapevoli della dinamica del nostro pianeta per una convivenza più proficua e sostenibile tra uomo e natura.

Tra le attività delle Sezioni, l'attivissima Sezione di Geologia Himalayana, nel corso del 36° HKT *workshop* tenutosi a Cracovia in Polonia, ha ricevuto l'incarico di organizzare il 37° Himalaya-Karakorum-Tibet *workshop*, congresso internazionale che si terrà a Torino dal 2 al 4 settembre 2025, ad undici anni dal precedente congresso HKT tenutosi in Italia. La geologia, così come la conoscenza, non ha confini né nazionali né tantomeno regionali e l'attività di questa sezione ne è la prova. Negli spazi dedicati alle



## Enrico CAPEZZUOLI

Direttore Editoriale Geologicamente

Studiare e conoscere la geologia è un'avventura emozionante (sì, sono di parte!!!). È incredibile come un geologo sia capace di identificare nelle rocce quelle evoluzioni, quei processi, quei singoli eventi che sono occorsi migliaia/milioni/miliardi di anni fa! Riconoscere queste caratteristiche all'interno delle rocce, come le forme prodotte da onde marine del Cambriano di 500 milioni di anni fa, oppure osservare le conseguenze di un impatto meteorico occorso alla fine del Cretacico di 66 milioni di anni fa .....è come leggere un libro di Storia e capire cosa è successo sul nostro pianeta, anche senza esserci stati! Questa è esattamente la stessa capacità della Storia e di quello che ci può insegnare: sapere cosa è successo (senza doverlo vivere direttamente) per capire cosa potersi aspettare e possibilmente minimizzare/impedire il suo ripetersi.

In questo senso, le carestie, le pandemie, le guerre sono tutte tragedie che la Storia ci tramanda nelle sue pagine e delle quali dovremmo fare tesoro per evitarle in maniera diretta (o farle vivere ai nostri cari). Alla stessa maniera, la Geologia permette di sapere quello che è avvenuto sul nostro Pianeta da un punto di vista naturale e che, per ineluttabilità (diceva Thanos....), potrà accadere nuovamente. Sapendo

Sezioni trovate, come di consueto, numerose e interessantissime iniziative, testimonianza della vivacità e della forte diversità geologica della Società Geologica Italiana.

È importante ricordare l'11 febbraio, giornata internazionale delle Donne e Ragazze nella Scienza. In questa occasione si è tenuta a Milano, presso il Dipartimento di Scienze della Terra "Ardito Desio", una giornata in memoria di Maria Bianca Cita, scienziata di chiara fama e prima presidente donna della Società Geologica Italiana, scomparsa all'età di quasi 100 anni lo scorso agosto. Un esempio da seguire che ha lasciato un segno indelebile nella geologia e nella comunità geologica nazionale ed internazionale. Nel libro "*Mente et Malleo*" pubblicato dalla SGI nel 2024 potete trovare altre notizie ed approfondimenti su questa straordinaria scienziata. In questa occasione è stato lanciato il premio congiunto SPI-SGI dedicato a M.B. Cita dedicato a giovani scienziate.

Lo stesso giorno la Divisione Pangea ha organizzato a Bologna una giornata dedicata alle Donne e Ragazze "geologhe" nella Scienza nell'ambito del congresso annuale del Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti, così come altre iniziative come quella di Torino co-organizzata presso il Dipartimento di Scienze della Terra.

I contributi principali presentati in questo numero non finiscono mai di stupire per la varietà: si va dalle "Avventure nella Zona Critica, quella interfaccia dove le rocce incontrano la vita, alla geologia su orizzonti verticali con gli aggiornamenti del progetto "3GEO - *Geoclimbing & Geotrekking in Geoparks*, ad uno sguardo a due grandi geologi del Novecento, Roberto Signorini e Carlo Ippolito Migliorini, che hanno contribuito alla conoscenza geologica dell'Appennino settentrionale, fino a mettere i piedi per terra, passo dopo passo, per conoscere e far conoscere la geologia del nostro paese con "Le escursioni geologiche della Scuola Alpina di Morbegno: il fondovalle della Valtellina" una interessante iniziativa di una scuola superiore, con uno sguardo rivolto a giovani e a ragazze/i.

Infine, ancora un grandissimo ringraziamento a Enrico Capezzuoli per l'eccellente lavoro che ha svolto per "Geologicamente" e per la Società Geologica Italiana e i migliori auguri e un grande in bocca al lupo a Marco Chiari che subentra come *Editor* di Geologicamente.

che questo potrà succedere, sarebbe possibile prepararsi per tempo per limitare certe circostanze (alluvioni, frane...), possiamo agire per minimizzarne i danni derivanti da eventi imprescindibili (terremoti, eruzioni, impatti meteorici...) ...o magari fare in modo che alcune di queste non succedano nuovamente!!

Purtroppo, negli ultimi tempi, mi sembra che, come la Storia, anche la Geologia non venga sfruttata per questa sua immensa ricchezza. Infatti, se storicamente i governi autoritari, che antepongono le ricchezze di pochi al benessere dei molti, hanno sempre portato a divisioni ed egoismi (sempre sfociati poi in conflitti, distruzioni e miserie), anche geologicamente le variazioni climatiche hanno sempre determinato cambiamenti ambientali importanti (con conseguenze sugli organismi presenti, quali migrazioni, estinzioni...). Eppure, sia i primi che i secondi sono attualmente sotto gli occhi di tutti...ma preferiamo pensare che queste conseguenze descritte nei libri di geologia e storia non avverranno in questo caso. Queste "brutte cose", che fortunatamente la maggioranza di noi non ha mai toccato direttamente, rimangono qualcosa di lontano, immateriale e che sembra impossibile possano accadere... anche se sono sempre avvenute.

L'idea è sempre quella che ognuno di noi è una piccola goccia, sballottata in una grande massa e incapace di influenzarne il resto. Perciò saremo sballottati... e alla fine ne subiremo. In realtà, proprio l'insieme di queste gocce forma quel mare e quelle onde che lasciano le impronte nelle rocce per i successivi milioni di anni. Chissà come sarebbe la nostra storia futura se adesso fossimo "mare" invece che "gocce". Forse una coscienza comune è ciò che servirebbe per agire in maniera solidale come "coloro che conoscono la Storia/Geologia".

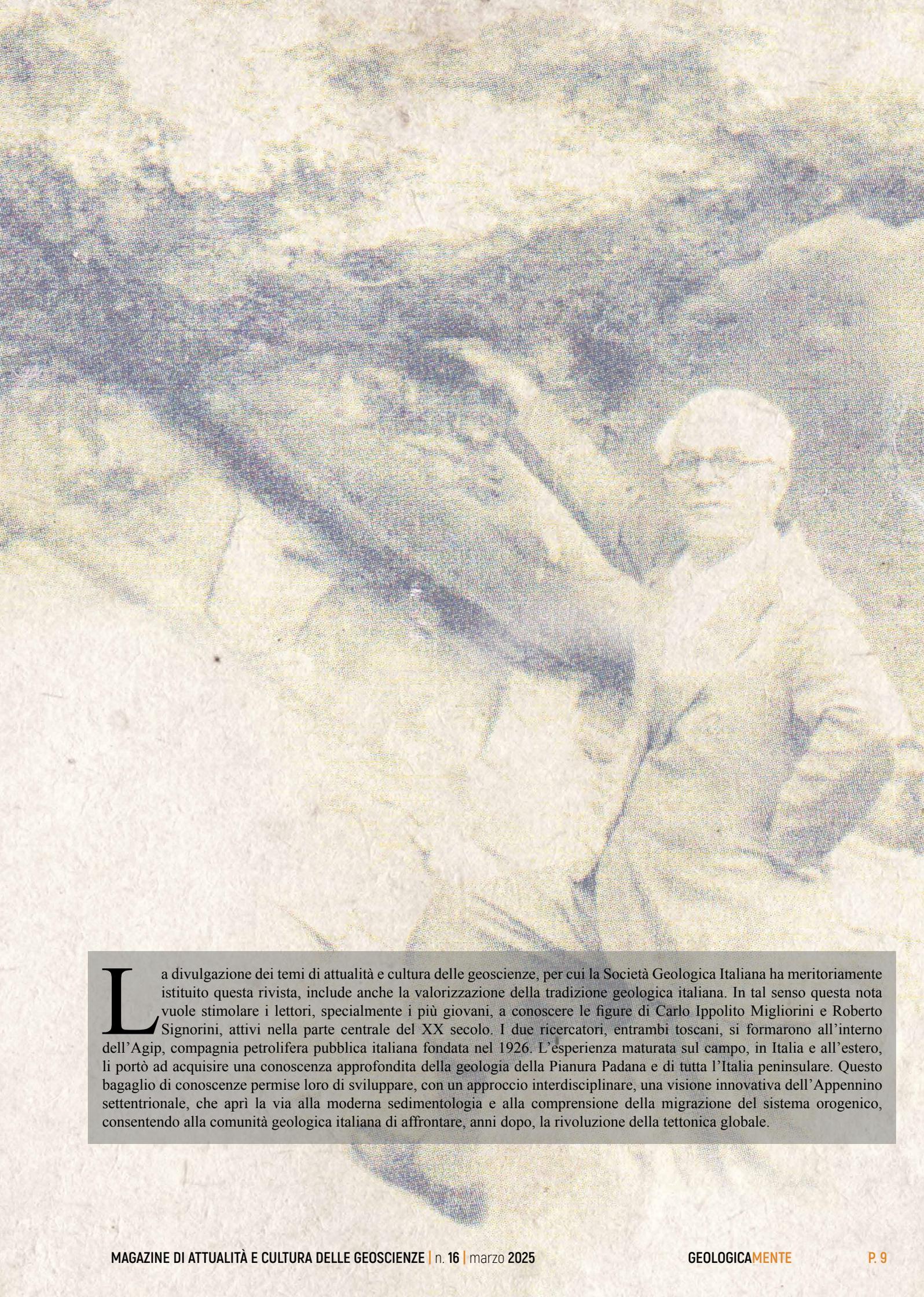
*Mente et Malleo semper!!!*

# SULLE TRACCE DI

*Carlo Ippolito Migliorini  
e Roberto Signorini,*

*un 'ritorno al futuro'  
nella geologia italiana  
del XX secolo*

a cura di Alessio Argentieri, Walter Alvarez, Ernesto Centamore,  
Fabio Massimo Petti e Enrico Tavarnelli



**L**a divulgazione dei temi di attualità e cultura delle geoscienze, per cui la Società Geologica Italiana ha meritoriamente istituito questa rivista, include anche la valorizzazione della tradizione geologica italiana. In tal senso questa nota vuole stimolare i lettori, specialmente i più giovani, a conoscere le figure di Carlo Ippolito Migliorini e Roberto Signorini, attivi nella parte centrale del XX secolo. I due ricercatori, entrambi toscani, si formarono all'interno dell'Agip, compagnia petrolifera pubblica italiana fondata nel 1926. L'esperienza maturata sul campo, in Italia e all'estero, li portò ad acquisire una conoscenza approfondita della geologia della Pianura Padana e di tutta l'Italia peninsulare. Questo bagaglio di conoscenze permise loro di sviluppare, con un approccio interdisciplinare, una visione innovativa dell'Appennino settentrionale, che aprì la via alla moderna sedimentologia e alla comprensione della migrazione del sistema orogenico, consentendo alla comunità geologica italiana di affrontare, anni dopo, la rivoluzione della tettonica globale.



### Alessio Argentieri

Città metropolitana di Roma Capitale - Dip. IV "Pianificazione, sviluppo e governo del territorio" - Servizio 2 "Geologico, difesa del suolo - Risorse agroforestali - Rischi territoriali", Italia.

#### Keywords

- ▶ Appennino settentrionale
- ▶ Carlo Ippolito Migliorini
- ▶ Roberto Signorini
- ▶ Storia della geologia

### Walter Alvarez

Department of Earth and Planetary Science, University of California; Osservatorio Geologico di Coldigioco, Italia.

### Ernesto Centamore

già SAPIENZA - Università di Roma, Dipartimento di Scienze della Terra, Italia.

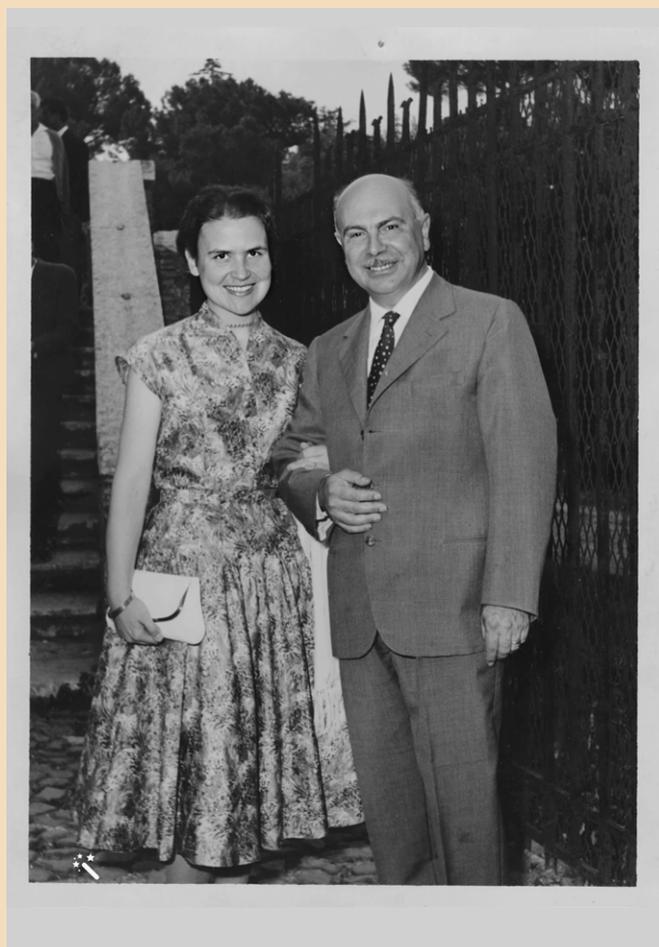
### Fabio Massimo Petti

Società Geologica Italiana, Roma, Italia.

### Enrico Tavarnelli

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Italia.

## INTRODUZIONE



**Fig. 1** - Roberto Signorini con la figlia terzogenita Luisa nel 1958. Foto: cortesia di Simon Lorenzo Signorini.



**Fig. 2** - Ritratto di Carlo Ippolito Migliorini.

**Q**uale privilegio speciale è essere un geologo! Far parte dello sforzo internazionale per comprendere il mondo in cui viviamo, l'impegno per scoprire come funziona il nostro pianeta e quale sia stata la sua storia. Che fortuna avere colleghi e amici in tutto il mondo che condividono la stessa ricerca. Colleghi e amici con cui possiamo avere conversazioni affascinanti, conoscendo il linguaggio con cui il territorio ci parla. Come un film di meravigliosa fattura – perfetto in tutti i suoi elementi – che non può essere apprezzato appieno se i dialoghi sono solo in una lingua a noi sconosciuta, così un paesaggio terrestre rivela tutti i suoi contenuti solo a chi è in grado di 'leggere i sottotitoli' che gli indicatori geologici rappresentano.

La nostra comunità di colleghi e amici è però ancora più grande, se vi includiamo geologi che non sono più in vita e altri che non sono ancora nati. Possiamo avere conversazioni unidirezionali con loro, che consentono, in effetti, una sorta di viaggio attraverso il tempo. I geologi che vissero molto tempo fa possono parlarci attraverso i loro scritti. E noi possiamo parlare ai futuri geologi con gli articoli che stiamo scrivendo ora.

In questa nota vi invitiamo perciò a conoscere, o a riscoprire, due grandi geologi italiani, i cui scritti ci giungono da quasi cento anni fa: Roberto Signorini (**Fig. 1**) e Carlo Ippolito Migliorini (**Fig. 2**), attivi nel XX secolo.

La scienza della geologia era all'epoca molto diversa da come è oggi. La rivoluzionaria teoria della tettonica delle placche non era ancora stata concepita e sviluppata, e quindi non c'era ancora speranza di comprendere veramente la Terra. I geologi di quei tempi non avevano gli strumenti che abbiamo ora - immagini satellitari, modelli digitali del terreno, misurazioni GPS, sistemi informativi geografici, dati sismici, microscopi elettronici e spettrometri di massa - strumenti che Signorini, Migliorini e i loro contemporanei avrebbero potuto a malapena immaginare. Si affidavano ai martelli per rompere superfici fresche di roccia, a piccole lenti di ingrandimento che permettevano loro di vedere i grani minerali, se erano abbastanza grandi, a vecchi microscopi e a mappe topografiche molto spesso non aggiornate su cui potevano tracciare le loro osservazioni geologiche. E, soprattutto, potevano contare sulle loro menti, per formulare domande sulla Terra e trovare modi di fornire risposte ai tanti interrogativi.

Quegli strumenti sono ricordati ancora oggi nel motto della Società Geologica Italiana "*Mente et Malleo*", "con il pensiero e il martello."

Ma anche potendo contare solo su quei semplici utensili, Signorini e Migliorini fecero osservazioni e scoperte meravigliose che ancora oggi ci ispirano, ci informano e guidano le nostre indagini.

Auspichiamo perciò che i lettori, soprattutto i più giovani tra colleghe e colleghi, vogliano seguirci in un viaggio di ‘ritorno al futuro’ nel XX secolo, nei tempi molto difficili in cui vissero i protagonisti di questo breve racconto: dagli anni Trenta della grande depressione, ai terribili anni Quaranta del secondo conflitto mondiale e infine gli anni di ripresa del secondo dopoguerra. Riscopriamo assieme queste due grandi figure dell’età eroica della geologia italiana, pronte a parlarci direttamente attraverso i loro scritti scientifici, che si invita a leggere - o rileggere - con l’attenzione e il rispetto che meritano.



Fig. 3 - Alessandro Martelli (Caltanissetta 25/11/1876 - Firenze 5/10/1934).

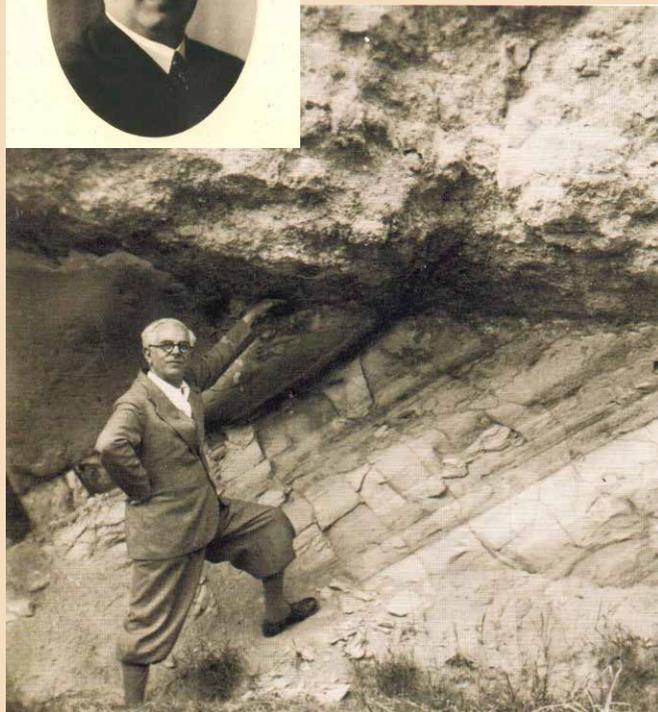


Fig. 4 - Guido Bonarelli (Ancona, 25/7/1871- Roma 11/1/1951), in posa davanti all’affioramento del livello che porta il suo nome (da Bonarelli, 2001).

## LA GEOLOGIA ITALIANA NEGLI ANNI TRENTA

Durante il ventennio fascista, al pari di tutte le altre sfere della vita nazionale, anche lo sviluppo delle scienze geologiche fu assoggettato al controllo del regime di Mussolini. Come per le altre discipline scientifiche, anche per la geologia italiana la ricerca di base, e soprattutto quella applicata, furono dirette da esponenti di spicco del Partito Nazionale Fascista. Tra gli anni Venti e Trenta la geologia fu sulla cresta dell’onda per il tema dell’autonomia energetica e delle risorse del sottosuolo. Risale al 1926 la fondazione dell’Azienda Generale Italiana Petroli (Agip), che reclutò molti dei migliori geologi e ingegneri minerari dell’epoca, tra cui Alessandro Martelli (Fig. 3), nominato presidente nel 1932, e Guido Bonarelli (Fig. 4), capo del settore esplorativo (Alvarez & Sannipoli, 2016). Nel gruppo di tecnici di alto livello chiamati a partecipare alle campagne di ricerca Agip in Italia meridionale, in Pianura Padana e all’estero, vi erano Tiziano Rocco, operante nella Sezione Geofisica, Roberto Signorini, responsabile della Sezione Geologica dal 1934 al 1946, e Carlo Ippolito Migliorini (Argentieri, 2024a, cum bibl.). Dopo l’invasione italiana dell’Etiopia nel 1935 e le conseguenti sanzioni economiche imposte dalla Società delle Nazioni – peraltro precocemente revocate già nel luglio del 1936 – il problema dell’autarchia divenne dominante, anche in termini propagandistici. Per tali scopi si concepì la “Mostra Autarchica del Minerale Italiano”, tenutasi nel Circo Massimo a Roma (ottobre 1938 - maggio 1939). Tra le molte ostentazioni di capacità mineraria e tecnologica, spicca la trivellazione profonda curata dall’Agip e patrocinata dalla Società Geologica Italiana. A occuparsene furono Leonzio Maddalena e Roberto Signorini, con la consulenza di Federico Sacco (Argentieri et al., 2019, 2020; Argentieri, 2024a, cum bibl.).

In quell’epoca difficile i due protagonisti di questa narrazione operarono con grande professionalità e senso di responsabilità. Le loro biografie sono sintetizzate nei paragrafi seguenti.



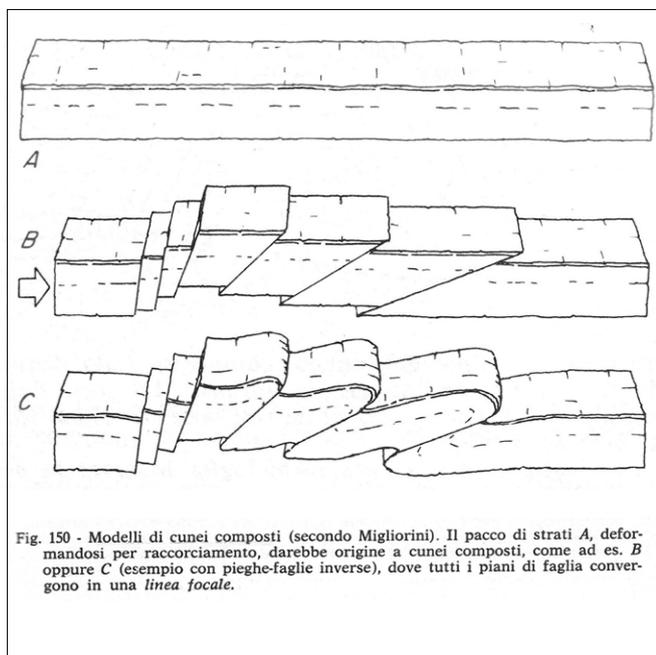


Fig. 7 - Il modello dei cunei composti di Migliorini (da Trevisan & Giglia, 1978).

Maestà Britannica, anche *Lord e Lady Mountbatten* (Di Cesare et al., 2005). Dal matrimonio, celebrato nel 1926, nacquero i figli Elena e Giorgio.

Sotto la presidenza di Alessandro Martelli, la Società Geologica Italiana organizzò la propria riunione estiva a Rodi e nell'area dell'Egeo. Migliorini fu incaricato assieme ad Ardito Desio dell'organizzazione dell'escursione, tenutasi nel settembre 1933; per questa occasione elaborò una dettagliata guida (Fig. 6), raccolta nel resoconto redatto dal Segretario della SGI (Clerici, 1933). Poco dopo, Martelli, figura di punta per le politiche energetiche del regime fascista e presidente dell'Agip dal 1932, propose a Migliorini di entrare in azienda come geologo del petrolio, pur non avendo lui alcuna esperienza in tal campo. Dopo l'assunzione in Agip e il rientro in Italia nel 1934, egli non tardò a mostrare le sue doti, studiando il giacimento di Tocco da Casauria (Abruzzo), dove nel 1863 era stata effettuata la prima perforazione in Italia, e la terza al mondo. È degno di menzione il suo precoce riconoscimento dei sovrascorrimenti nei calcari di Colle dell'Oro, ipotesi del tutto contrastante con la visione dei più autorevoli geologi dell'epoca (Azzaroli, 1955). Successivamente, tra il 1936 e il 1939, Migliorini fu incaricato di guidare missioni esplorative in Eritrea (Isole Dahlak) e Somalia. Non trascurò però, accanto all'attività tecnica, la ricerca scientifica, e nel 1939 ottenne la libera docenza. Fu a capo della Sezione Esplorazione fino al 1943, quando si interruppe il rapporto lavorativo con l'azienda. Dopo la nascita della terza figlia, Tatiana, nel 1942, le fasi più dure del periodo bellico coincisero per lui con un periodo di grande difficoltà personale, su cui scarseggiano i dettagli nelle fonti scritte (sappiamo che nel 1943 risiedeva a Firenze

in via Masaccio al civico 70). Migliorini era infatti rimasto senza impiego, avendo subito l'esplorazione petrolifera un fermo prolungato a causa delle ostilità; ciò nonostante, quelli furono per lui anni di intensa attività scientifica. Dopo la fine delle ostilità, superando le difficoltà del dopoguerra, grazie alla grande esperienza maturata e alla padronanza della lingua inglese, egli riprese l'attività professionale come consulente di società petrolifere nazionali e straniere (*Sinclair Oil Company e Anglo-Iranian Oil Company*), operando sia in Italia (Toscana, Abruzzo, Sicilia) che all'estero (Africa, Medio Oriente).

Nel 1950, insieme al geologo olandese Philip Henry Kuenen, Migliorini fu autore di una delle pietre miliari della geologia internazionale del XX secolo. Il primo aveva lavorato sulla modellazione analogica dei processi di risedimentazione dei depositi clastici, il secondo portava invece in dote un'approfondita conoscenza di terreno. Il loro articolo, intitolato "*Turbidity currents as a cause of graded bedding*", pubblicato su "*The Journal of Geology*", consolidò definitivamente l'ipotesi che le correnti di torbida fossero la causa principale della formazione della stratificazione gradata (*graded bedding*). La teoria di Kuenen e Migliorini ebbe un impatto decisivo sulla sedimentologia e sulla comprensione dei processi di deposizione in ambienti marini profondi (Letsch, 2019). Il loro contributo spinse la comunità scientifica internazionale a concentrarsi maggiormente sul ruolo delle correnti di torbida, oggi riconosciute come una delle principali cause di formazione di strutture sedimentarie complesse. L'articolo succitato può essere considerato come il momento in cui la teoria sulle torbiditi, fino ad allora in gran parte intuitiva, venne finalmente formulata in modo sistematico e con una solida base scientifica (*Turbidite Revolution*). Fu questo l'ultimo articolo che Migliorini scrisse, a chiudere una produzione scientifica quantitativamente contenuta (50 pubblicazioni), ma qualitativamente eccelsa, ricca di intuizioni e spunti innovativi (Azzaroli, 1955). Si pensi al tema delle argille scagliose, o al concetto di tettonica gravitativa ("frane orogeniche"), o al suo precoce modello dei "cunei composti" (Fig. 7) che intuì con decenni di anticipo i meccanismi di evoluzione e collasso del cuneo orogenico.

Nella parte finale della carriera Migliorini si interessò alla geotermia, inizialmente nel 1952 presso il campo di Larderello, e successivamente in Uganda, all'epoca ancora protettorato britannico, dove si recò nel Febbraio 1953 per studiare le potenzialità di tali fonti energetiche (Azzaroli, 1955). Nel frattempo egli era stato eletto dalla SGI, nell'Assemblea Generale del 20 Dicembre 1952, Vicepresidente per l'anno 1953, a fianco del Presidente Enzo Beneo (Argentieri, 2024b). Tale carica, come d'uso, doveva preludere alla successione al vertice del sodalizio. Ciò non sarebbe però mai avvenuto: poco dopo il rientro dall'Africa, purtroppo, si manifestarono in lui, repentinamente, i segni della malattia che lo stava minando. Migliorini morì a Firenze il 4 Marzo 1953, e li riposa nel Cimitero Evangelico agli Allori, lungo la Via Senese, che dall'Oltrarno conduce al Galluzzo.



Fig. 8 - Ritratto di famiglia di quattro generazioni dei Signorini nel 1928: seduto a destra Roberto, in piedi suo padre Piero, al centro il nonno Paolo con in braccio il bisnipote Pierfranco (primogenito di Roberto). Foto: cortesia di Simon Lorenzo Signorini.

## ROBERTO SIGNORINI

Nacque a Firenze il 9 Maggio 1901 da una famiglia di artisti, tra cui spiccava il prozio paterno Telemaco Signorini, celebre pittore esponente dei Macchiaioli, fratello di suo nonno Paolo (Fig. 8). Dopo aver conseguito la licenza liceale a Firenze (Fig. 9), presso il Liceo Michelangelo, frequentò il biennio di ingegneria all'Università degli Studi di Roma "La Sapienza". Successivamente si trasferì in Belgio dove si laureò nel 1929 presso l'*École des Mines de Liège*. Lavorò come geologo presso l'Agip sin dalla sua istituzione nel 1926, operando in varie sedi; proseguì nel frattempo anche gli studi presso La Sapienza a Roma, conseguendovi la laurea in ingegneria nel 1930. Nel 1936 fu trasferito a Roma come Capo della Sezione geologica dell'Agip, incarico tenuto sino al 1946 (Baccetti, 1980; Merla, 1980; Moretti, 1980).

Negli anni difficili della Seconda Guerra Mondiale, Signorini contribuì a mantenere viva la Società Geologica Italiana, ricoprendo il ruolo di Segretario dal 1942 al 1944; grazie al suo impegno fu garantita la continuità editoriale con la pubblicazione del Bollettino SGI (Alvarez, 2009; Argentieri, 2024a).

Roberto era profondamente credente, e studiò per poter leggere la Bibbia in ebraico. Contrariamente al padre Piero, che aderì al fascismo sin dalla prima ora, Roberto fu antifascista, con la discrezione che era propria della sua indole. Sposò il 23 Giugno 1927 Ada Cangioli, da cui ebbe i quattro figli Pierfranco (diplomatico), Giancarlo (agronomo), Luisa (botanica) e Anna.

Conseguita la libera docenza nel 1942, Signorini ottenne l'insegnamento di Geografia Fisica presso La Sapienza nel 1947 e quello di Geologia Applicata nel 1948. È in questo

periodo trascorso a Roma (dove viveva in Via Montevidео 2) che vide la luce un lavoro di fondamentale importanza nella sua produzione scientifica. Attraverso la sua incomparabile esperienza di studi di terreno si rese conto che non tutti i bacini sedimentari dell'Appennino fossero riconducibili alla propagazione di faglie inverse e sovrascorrimenti, responsabili della migrazione del fronte compressivo verso i quadranti orientali. Nel 1946 venne infatti pubblicata una nota (Signorini, 1946; vedasi anche Alvarez, 2009) nella quale egli documenta che buona parte dei bacini sedimentari del settore interno e occidentale dell'Appennino non è delimitata da faglie inverse, certamente presenti, bensì da faglie normali, dirette! Signorini attribuisce quindi l'origine e l'evoluzione di buona parte dei bacini sedimentari del settore interno dell'Appennino allo sviluppo di un regime tettonico di carattere distensivo, cinematicamente opposto rispetto al precedente regime compressivo. Questa fu una scoperta fondamentale per la comprensione della storia dell'Appennino. A seguito di questa segnalazione, numerosi gruppi di ricerca riconobbero il ruolo determinante della tettonica distensiva nell'evoluzione del settore tirrenico della penisola italiana.

La progressiva acquisizione di dati di carattere geologico, biostratigrafico e geofisico ha successivamente condotto alla formulazione di modelli originali volti alla comprensione della coesistenza di fenomeni compressivi sul fronte e di coevi – ed anche più recenti – fenomeni distensivi nelle zone interne della catena appenninica, che oggi trova una sua collocazione del contesto della teoria della Tettonica a Placche affermatasi a cavallo degli anni '60 e '70 del XX Secolo. Anche dal punto di vista sociale, l'importanza della segnalazione dell'esistenza



Fig. 9 - Roberto Signorini adolescente a Firenze, nella casa paterna assieme ai genitori, nel 1914. Foto: cortesia di Simon Lorenzo Signorini.

## L'EREDITÀ DEI PRECURSORI

della tettonica distensiva in Appennino risulta particolarmente attuale. Le faglie dirette, infatti, sono le principali strutture responsabili dei devastanti terremoti che hanno colpito il settore centro-occidentale della penisola italiana negli ultimi decenni (Colfiorito, 1997; L'Aquila, 2009; Amatrice-Norcia, 2016-2017).

In questo senso il contributo intellettuale di Signorini rappresenta una vera e propria anticipazione originale, divenuta poi una pietra miliare nell'interpretazione dell'evoluzione tettonica della catena appenninica.

Nel 1968 Signorini si trasferì a Siena, dove era stato appena istituito il corso di Laurea in Geologia, insegnandovi Geologia Applicata fino al suo pensionamento avvenuto nel 1971.

Di particolare pregio sono i suoi studi sulla geologia della Toscana, con particolare riferimento ai contributi alla conoscenza del suo settore centrale e meridionale, realizzati in gran parte durante il periodo d'insegnamento presso l'Università di Siena.

Signorini morì a Siena il 14 Gennaio 1980 (Moretti, 1980; Merla, 1980); le sue spoglie sono tumulate nel cimitero di San Lorenzo a Merse, frazione del Comune di Monticiano (Siena) dove si trova la tenuta di famiglia in località Cerreto a Merse.

In questa sede, per necessità di sintesi, non si può approfondire ulteriormente l'analisi della produzione scientifica dei due personaggi, che si rimanda ad apposito ulteriore articolo di taglio scientifico (attualmente in preparazione a cura di questo medesimo gruppo). Ci si limita in questa sede a riepilogare per i lettori di *GeologicaMente* l'importanza del loro contributo. Basti pensare alla "*Turbidite revolution*", a cui Migliorini diede avvio assieme al collega olandese Philip Kuenen, professore di geologia all'Università di Groeningen, con il già citato articolo del 1950 (Kuenen & Migliorini, 1950). Si tratta di uno dei più grandi passi in avanti nella geologia mondiale del XX secolo, vero caposaldo della moderna sedimentologia, che portò alla comprensione del meccanismo delle correnti di torbida e della loro importanza nei processi orogenici (Merla, 1984; Mutti et al., 2009). Dal canto suo, Signorini aprì una nuova visione dello stile deformativo dell'Appennino settentrionale, mettendo in luce il ruolo delle strutture distensive e dei meccanismi di inversione tettonica nelle fasi tardo-orogeniche (Signorini, 1946; Merla, 1984; Trevisan, 1984; Alvarez, 2009).

Si tratta di concetti già proiettati nel futuro, elaborati peraltro in una fase storica difficilissima del nostro passato, e in cui la geologia moderna era ancora di là da venire. Non è una esagerazione considerare i due protagonisti di questo racconto dei precursori e dei visionari, veri e propri eroi della geologia del XX secolo, anche di quella che sarebbe arrivata dopo di loro. E senza nulla togliere a Signorini, il cui contributo ha così profondamente condotto alle moderne visioni di sviluppo del sistema appenninico, non ci si può esimere dal rimarcare che Migliorini, peraltro nato 10 anni prima del collega,

fosse veramente uno studioso all'avanguardia rispetto al proprio tempo.

Da ricordare infine che, nell'ambito della Società Geologica Italiana, Migliorini e Signorini furono membri della commissione per l'istituzione in Italia di una sezione tipo del limite Plio-Pleistocene. Tale iniziativa discendeva dalla richiesta della comunità geologica internazionale, formalizzata nell'ambito dell'*International Geological Congress* di Londra del 1949 (Argentieri, 2024b).

Nell'avviarci al termine di questa narrazione, ci teniamo a specificare come sia stata una forte spinta affettiva nei confronti delle figure dei due grandi geologi ad averci unito nella scrittura del testo. Un affetto primario, per chi di noi (E.C.) all'inizio della propria carriera ha avuto il privilegio di conoscere personalmente Migliorini e Signorini; nei restanti, pur appartenenti a generazioni diverse, è nato un affetto di origine secondaria, assorbito tramite il racconto che abbiamo avuto la fortuna di ascoltare dalla voce di altri o – come detto nella premessa – tramite la comunicazione unidirezionale della parola scritta dei due protagonisti.

Non si dimentichi infine che, nonostante la lunga esperienza didattica, la formazione internazionale, la conoscenza delle lingue e l'intensa attività di ricerca, Signorini non ottenne mai una posizione universitaria di ruolo. Lo stesso accadde per l'ancor più poliglotta Migliorini, che rispetto al collega forse poteva vantare una più limitata attività didattica nel suo curriculum. Eppure i due brillanti studiosi, provenienti dal mondo dell'industria petrolifera, poterono contare sull'aperto sostegno di Giovanni Merla. Quest'ultimo li convulse infatti nell'organizzazione della 53ª Riunione estiva SGI del 1949 a Firenze, la prima dopo la lunga pausa bellica durata una decade (Argentieri, 2024b). Testimonianze acquisite dagli scriventi hanno messo in luce come il mondo accademico nazionale, nel reclutare i nuovi professori a partire dagli anni Cinquanta con la prima tornata di concorsi universitari del dopoguerra, abbia sostanzialmente penalizzato entrambi. Per Signorini in particolare pesò negativamente la sua condizione benestante e il suo cospicuo patrimonio familiare, che lo facevano ritenere non bisognoso di un incarico di ruolo. Per tali ragioni si ritenne di far andare in cattedra altri candidati, forse altrettanto validi, ma per i quali un pubblico impiego era condizione imprescindibile per proseguire nell'attività di ricerca. Altro fattore ostativo per i due candidati fu la loro condizione di *outsiders*, non avendo essi percorso i vari passi di una vera e propria gavetta universitaria (si veda al riguardo la schietta opinione di Mancini, 1986). Le scelte del mondo accademico furono figlie del contesto di allora, che è doveroso analizzare in prospettiva storica (si veda in Argentieri, 2024b, cum bibl.); ciò non impedisce però di esprimere il rammarico per il mancato riconoscimento ai due Maestri della geologia nazionale. Spetta al tempo galantuomo rimettere le cose al proprio posto – così come le correnti di torbida ristabiliscono, alla fine del proprio percorso, un equilibrio – conferendo a Migliorini e Signorini il posto che essi, a nostro avviso, doverosamente meritano nella storia della geologia italiana.

A conclusione di questa nota breve, pare di non secondaria

importanza ribadire che il lavoro dei due scienziati maturò nell'epoca a cavallo della seconda guerra mondiale, caratterizzata da grandi difficoltà e ristrettezze. Le loro teorie, seppur modificate alla luce degli studi successivamente prodotti, man mano che il paradigma della tettonica delle placche andava trovando applicazione nel Mediterraneo centrale, mantengono validità come pietre miliari del sapere scientifico. La ricchezza di dati di terreno su cui le loro interpretazioni si basavano costituisce comunque un patrimonio indiscusso per la comunità geologica italiana, la cui validità oggettiva resta intatta rispetto alle visioni soggettive che invece, come ogni cosa umana, devono soggiacere alla caducità del tempo.

## Ringraziamenti

Gli autori di questo articolo afferiscono alla Sezione di Storia delle Geoscienze della Società Geologica Italiana, nel cui ambito di attività la pubblicazione è stata prodotta. Le fotografie dell'archivio familiare Signorini sono state cortesemente messe a disposizione da Simon Lorenzo Signorini, così come alcune informazioni inedite su suo nonno paterno Roberto. Testimonianze dirette le ha apportate uno dei coautori – Ernesto Centamore – che nella sua lunga esperienza ebbe la fortuna di conoscere entrambi i protagonisti di questo racconto, ed in particolare Signorini, che gli fu insegnante e maestro.

Nel corso del 2024, attorno all'idea di rendere omaggio alle figure di Migliorini e Signorini quali precursori della comprensione geologica dell'Appennino settentrionale, si è formato il nostro gruppo di lavoro. La scintilla è ovviamente scoccata attorno ad una tavola imbandita di buon cibo e ottimo vino, durante la bella festa per i novanta anni di Ernesto Centamore, celebrata a Roma nel marzo 2024. Un primo passo per concretizzare il progetto è consistito in una comunicazione poster, presentata al congresso congiunto SGI- SIMP di Bari a Settembre 2024. Subito dopo è partita l'impostazione di questo primo articolo, in lingua italiana. A fine Ottobre, una riunione telematica ha consentito di incontrarci virtualmente, annullando le distanze tra Roma, Siena e la California; c'era naturalmente anche Centamore, affettuosamente assistito da suo figlio Pierfederico (Fig. 10). Poche settimane dopo, nelle prime ore del 21 dicembre, purtroppo Ernesto ci ha lasciato, affidandoci, dopo aver seminato moltissimi anni addietro il seme della voglia di conoscere, il compito da portare a termine. Siamo onorati di averlo fatto, e di poter dedicare questo articolo alla cara memoria del Maestro e amico, che ne è a pieno titolo coautore. Nel farlo, tutti ci riconosciamo nella centratissima e sintetica definizione datane in passato da uno di noi “*My friend Ernesto Centamore, a giant italian with a gargantuan appetite for life, for food and for geology*” (Alvarez, 1997).



Fig. 10 - Screenshot della videoriunione del 30 ottobre 2024.

## BIBLIOGRAFIA

**Alvarez W. (1997).** *T. rex and the Crater of Doom*. Princeton, NJ, 185 pp.

**Alvarez W. (2009).** *The Mountains of Saint Francis. Discovering the Geological Events that shaped Our Earth*. New York, NY, 304 pp.

**Alvarez W. & Sannipoli E. (2016).** *Guido Bonarelli and the geological discovery of the Bottaccione Gorge at Gubbio*. Geological Society of America Special Paper, vol. 524, 1-11.

**Argentieri A., Capelli G. & Mazza R. (2019).** *Il sondaggio "Circo Massimo" (Roma 1939), un sito della memoria geologica - The "Circo Massimo" borehole (Rome 1939), a site of the geological memory*. Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater, AS31-444, 79-83.

**Argentieri A., Capelli G. & Mazza R. (2020).** *Il Pozzo Circo Massimo nella Mostra Autarchica del Minerale Italiano (Roma, 1938-1939)*. In "I siti della memoria geologica del Lazio", Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 106, 269-278.

**Argentieri A. (2024a).** "Martello e Moschetto". *La geologia italiana nell'era fascista*. In "Mente et Malleo. La Società Geologica Italiana e i suoi presidenti" (Argentieri A., Romano M., Petti F.M., Pantaloni M., Console F., Fabbri S., eds.), Società Geologica Italiana, 87-98.

**Argentieri A. (2024b).** "1946-1969: Rinascimento geologico". In "Mente et Malleo. La Società Geologica Italiana e i suoi presidenti" (Argentieri A., Romano M., Petti F.M., Pantaloni M., Console F., Fabbri S., eds.), Società Geologica Italiana, 101-116.

**Azzaroli A. (1955).** *Carlo Ippolito Migliorini (1891-1953)*. Journal of the Society for the Bibliography of Natural History, 3(2), 109-113.

**Baccetti B. (1980).** *La scomparsa di Signorini*. Lutto per la cultura. La Nazione, 8 gennaio 1980.

**Bonarelli L. (2001).** *Guido Bonarelli (1874 - 1951). La vita e l'opera scientifica*. Associazione Pionieri e Veterani Agip.

**Clerici E. (1933).** *Il XLVI Congresso della Società Geologica Italiana a Rodi*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 52(1), 33-73.

**Di Cesare F., Guidi F. & Casnedi R. (2005).** *Migliorini and the three pillars of geological wisdom*. First Break, 23, 81-85.

**Kaźmierczak U., Strzałkowski P., Lorenc M.W., Szumska E., Peréz Sánchez A.A. & Baker K.A.C. (2019).** *Post-mining Remnants and Revitalization. Geoheritage*  
<https://doi.org/10.1007/s12371-019-00408-8>

**Kuenen P.H. & Migliorini C.I. (1950).** *Turbidity currents as a cause of graded bedding*. The Journal of Geology, 58, 91-127.

**Letsch D. (2019).** *On the pre-history of the turbidite concept: an Alpine perspective on occasion of the 70th anniversary of Kuenen's 1948 landmark talk*. Swiss Journal of Geosciences, 112(2), 325-339.

**Mancini F. (1986).** *A few thoughts about Giovanni Merla and his contributions to applied geology*. Memorie della Società Geologica Italiana, 31, 231-233.

**Merla G. (1984).** *La tettonica dell'Appennino settentrionale dagli albori al 1950: riflessioni e ricordi*. In "Cento anni di geologia italiana: volume giubilare 1° centenario della Società Geologica Italiana 1881-1981", Società Geologica Italiana, 177-182.

**Migliorini C.I. (1910).** *Sul calcare miocenico casertinese*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 29, 423-456.

**Moretti A. (1980).** *Roberto Signorini*. Mem. Soc. Geol. It, 21, 5-15.

**Mutti E., Bernoulli D., Ricci Lucchi F., Tinterri R. (2009).** *Turbidites and turbidity currents from Alpine 'flysch' to the exploration of continental margins*. Sedimentology, 56, 267-318.

**Signorini R. (1946).** *Un carattere strutturale frequente nell'Appennino centrale*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 65, 17-21.

**Trevisan L. (1953).** *Carlo Ippolito Migliorini (1891-1953)*. Atti della Società Toscana di Scienze Naturali residente in Pisa, Memorie, Serie B, 60, VII-XII.

**Trevisan L. (1984).** *Autoctonismo e faldismo nella storia delle idee sulla tettonica dell'Appennino settentrionale*. In "Cento anni di geologia italiana: volume giubilare 1° centenario della Società Geologica Italiana 1881-1981", Società Geologica Italiana, 183-197.

**Trevisan L. & Giglia G. (1978)** - *Introduzione alla Geologia*. Pacini Editore, Pisa, 401 pp.

## SITOGRAFIA

<https://siusa-archivi.cultura.gov.it/cgi-bin/pagina.pl?TipoPag=prodpersona&Chiave=61468>



**MASSENZA**  
**DRILLING RIGS**

— SINCE 1921 —

Vi aspetta a

**bauma**

APRIL 7-13, 2025, MUNICH

**Stand FN.622/14**



# Comprendere i processi fondamentali che plasmano l'universo

## ZEISS Microscopy Solutions per le Geoscienze

ZEISS fornisce le soluzioni più all'avanguardia per la mineralogia 2D e 3D, la petrografia e la fisica minerale, supportandoti nelle tue sfide di ricerca attraverso segmentazione e analisi basate sull'intelligenza artificiale.





Vigneti nella regione vinicola italiana della Valtellina in Lombardia.

Foto di Franco Folini - Flickr: Valtellina, Italy, CC BY-SA 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=25733644>



# UN'ESCURSIONE GEOLOGICA

*sul fondovalle valtellinese*

a cura di **Enrico Cameron**

**L**e aree alpine evocano spesso, nell'immaginario collettivo, maestosi panorami dominati da ghiacciai e cime scolpite dal gelo. Anche la divulgazione geologica tende talora a concentrarsi sulle spettacolari forme delle alte quote. Tuttavia, sono i fondovalle a ospitare la maggior parte degli insediamenti, delle infrastrutture e delle attività umane, e questi spazi vengono talvolta percepiti come separati dai circostanti rilievi. In realtà, come l'escursione descritta in questo contributo ricorda, i fondovalle sono parte integrante del territorio alpino e della sua dinamica e sono stati, e possono ancora essere, teatro di eventi geologici e geomorfologici significativi che hanno lasciato tracce affascinanti e preziose da studiare.



### Keywords

- ▶ Geologia
- ▶ Geomorfologica
- ▶ Outdoor education
- ▶ Scuola Alpina

## INTRODUZIONE

La Valtellina è una regione alpina della Lombardia settentrionale che coincide quasi interamente con il bacino del Fiume Adda a monte del Lago di Como; insieme alla Valchiavenna forma la Provincia di Sondrio (Fig. 1).

Le Alpi rappresentano un ambiente complesso, affascinante e al tempo stesso vulnerabile, che non solo riveste un'enorme importanza per la ricerca scientifica, ma offre anche infinite opportunità per attività didattiche basate sull'osservazione diretta, adattabili a studenti di ogni età. In particolare, l'esplorazione degli aspetti geologici e geomorfologici dell'ambiente alpino è cruciale per comprendere la loro influenza sulla struttura e sull'evoluzione del territorio, sviluppare consapevolezza dei rischi naturali e approfondire la conoscenza delle Scienze Geologiche. L'importanza di questa conoscenza è stata più volte sottolineata e assume oggi un rilievo ancora maggiore per il ruolo fondamentale che queste discipline svolgono nell'affrontare le attuali sfide climatiche e ambientali, oltre che nel promuovere il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità.

Morbegno, principale centro della Bassa Valtellina, ospita l'Istituto Comprensivo 2 Damiani. Nel 2020 la scuola secondaria dell'istituto ha ottenuto la certificazione europea di Scuola Alpina, avviando un indirizzo incentrato sui processi ambientali e socioeconomici alpini, con l'obiettivo di riavvicinare gli studenti al territorio montano e sensibilizzarli sulle sue caratteristiche, risorse e opportunità. Il modello educativo,

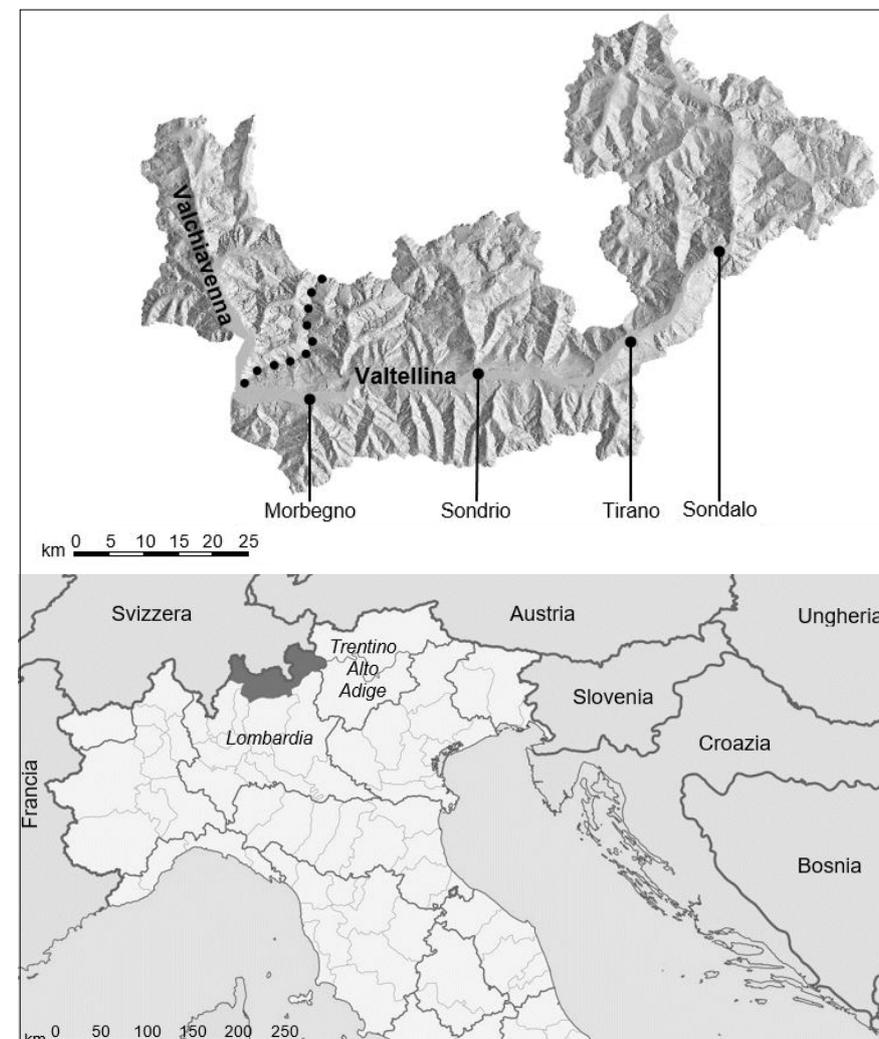


Fig. 1 - La Provincia di Sondrio e la Valtellina nel contesto del Nord Italia.

interdisciplinare, integra la montagna nel percorso formativo, coinvolge le realtà locali e combina l'uso delle tecnologie con le esperienze pratiche sul campo. Geologia, geomorfologia e *outdoor education* assumono un ruolo chiave nella didattica, al fine anche di avvicinare positivamente studenti di giovane età alle Scienze Geologiche.

Una delle escursioni organizzate dalla scuola è dedicata all'osservazione di importanti fenomeni franosi e dei loro effetti lungo un itinerario di circa 80 km che si snoda sul fondovalle valtellinese, dalla Bassa all'Alta Valtellina. Il percorso

tocca aree di grande interesse geologico e geomorfologico e permette di studiare processi che hanno modellato, e potrebbero ancora influenzare, questa zona densamente abitata della Provincia di Sondrio, spesso percepita – anche dai residenti – come estranea alla dinamica dell'ambiente montano.

Alcune tappe dell'escursione sono presentate in forma sintetica in questo contributo. La descrizione completa è disponibile al link <https://doi.org/10.5281/zenodo.14598491>. I termini contrassegnati con un asterisco sono spiegati nel glossario.

## IL CONOIDE DEL TORRENTE TARTANO E LA FRANA DEL PIZZO DELLA PRUNA

La Val Tartano è una valle laterale della Valtellina, nelle Alpi Orobie, percorsa dal torrente Tartano. Il conoide\* del torrente (Fig. 2) si sviluppa sul fondovalle spingendo il fiume Adda verso la sponda opposta ed è il primo geosito\* incontrato durante l'escursione (Regione Lombardia e IREALP, 2008). Al termine della valle è ben visibile una paleofrana staccatasi

dal Pizzo della Pruna, favorita dalla presenza di faglie e fratture (Fig. 2). L'accumulo di frana raggiunge spessori di 80 metri e presenta al piede rimobilizzazioni superficiali causate dall'azione erosiva del torrente. Durante gli eventi alluvionali del 1987, che hanno colpito la provincia di Sondrio e altre aree, l'accumulo si è riattivato contribuendo a generare una grande colata detritica\*. Nel 1993, dopo un periodo di piogge intense e prolungate, all'apice del corpo di frana si è aperta una frattura lunga centinaia di metri, e altre deformazioni sono state osservate nel 2001 e 2002, sempre nel corso di eventi meteorici intensi. Attualmente, l'accumulo di frana è la principale fonte di materiale per il conoide perché i detriti trasportati dal torrente Tartano sono trattenuti quasi completamente da una diga costruita poco a monte (Francani, 2017; Agostoni et al., 1997).

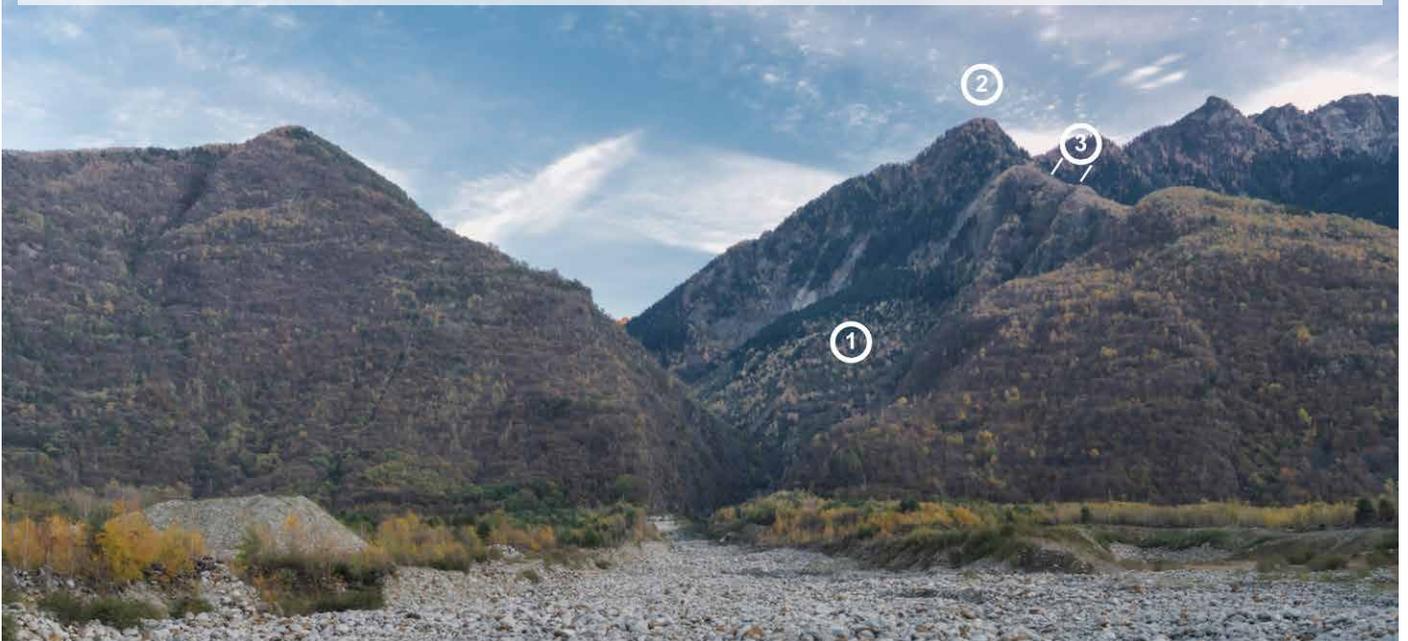


Fig. 2 - Lo sbocco della Val Tartano con la frana della Pruna – 1) accumulo di frana; 2) Pizzo della Pruna; 3) Alcune discontinuità.

## IL "PUNT DE SASS" DI VILLA DI TIRANO

Il "Punt de Sass" (Ponte di Sasso) sorge quasi misteriosamente nella campagna di Villa di Tirano, nella media Valtellina (Fig. 3). Il ponte risale almeno al tardo XV secolo, è lungo circa 28 metri e presenta due grandi arcate simmetriche di 12 metri, separate da una pila centrale rinforzata con speroni triangolari. L'opera testimonia le trasformazioni del fondovalle valtellinese legate ai mutamenti del corso dell'Adda ed è anch'esso un geosito della Provincia di Sondrio. La sua funzione cessò nel 1817, dopo un'alluvione che deviò il corso del fiume, seguita da lavori di arginatura e dalla costruzione di un nuovo ponte (Masa, 2014; Regione Lombardia e IREALP, 2008). Oggi, il ponte si trova a circa 400 metri dall'alveo dell'Adda.



Fig. 3 - Il Ponte di Sasso ripreso da sud – ovest; sullo sfondo il Monte Masuccio.

## IL SANTUARIO DELLA MADONNA DI TIRANO

Da Villa di Tirano, percorrendo la SS38, si raggiunge Tirano e Piazza della Basilica, situata allo sbocco della Val Poschiavo e attraversata dalla tratta Tirano–Saint Moritz della Ferrovia Retica, parte del patrimonio UNESCO dal 2008. Sulla piazza si erge il Santuario della Madonna di Tirano, splendido edificio iniziato nel 1505 e completato nel 1703, che unisce la rilevanza religiosa e artistica a quella geologica (Fig. 4 e 5). Il Santuario, infatti, è inserito fra i geositi della Provincia di Sondrio per il suo interesse petrografico, legato alla varietà dei materiali lapidei impiegati nella costruzione, come il marmo bianco locale, la serpentinite dell'architrave, il calcare nero di Perledo-Varenna con

intarsi policromi dell'altare maggiore, le rocce calcaree di Arzo (Canton Ticino) delle colonne dell'organo e le piastrelle del pavimento in marmo, calcare nero, calcari di Arzo e Rosso Ammonitico Veronese<sup>1</sup>. Per la sua posizione e le sue caratteristiche, il Santuario intreccia storia, arte, cultura, geografia e geologia.



Fig. 4 - Il Santuario della Madonna di Tirano, di sera.



Fig. 5 - L'organo monumentale sostenuto da otto colonne e il pavimento policromo.

1 - Nella bibliografia relativa al Santuario si utilizza spesso il termine merceologico generico "marmo", che però in geologia indica rocce metamorfiche derivanti dalla trasformazione di rocce calcaree. Le indicazioni petrografiche riportate provengono dall'insieme delle fonti consultate, ma un'identificazione precisa dei materiali lapidei richiederebbe rigorose indagini petrografiche di cui chi scrive non è a conoscenza.

## IL MONTE MASUCCIO E IL CONOIDE DI SERNIO

Il versante sud del Monte Masuccio è interessato da un fenomeno chiamato deformazione gravitativa profonda di versante\* (DGPV), che appare come una gigantesca frana – con un rigonfiamento al piede - estesa quasi dalla sommità del rilievo al F. Adda (Fig. 6).

Le coperture detritiche e l'ammasso roccioso fratturato della DGPV favoriscono lo sviluppo di frane, perché hanno una resistenza meccanica ridotta e perché facilitano l'infiltrazione e la circolazione in profondità dell'acqua; quest'ultima diminuisce ulteriormente la resistenza dei materiali e ne aumenta il peso. Un episodio ben documentato riguarda una frana verificatasi l'8 dicembre 1807, che ha sbarrato l'alveo dell'Adda formando un lago di quasi 2,6 km di lunghezza e oltre 1 km<sup>2</sup> di superficie (Angeloni, 2012).

Anche il grande conoide di Sernio, situato allo sbocco della Valchiosa, è legato a una storia di frane e laghi (De Finis et al., 2015 e Fig. 7). La testata della Valchiosa è caratterizzata da una scarpata alta, ripida e arcuata, tipica delle nicchie di

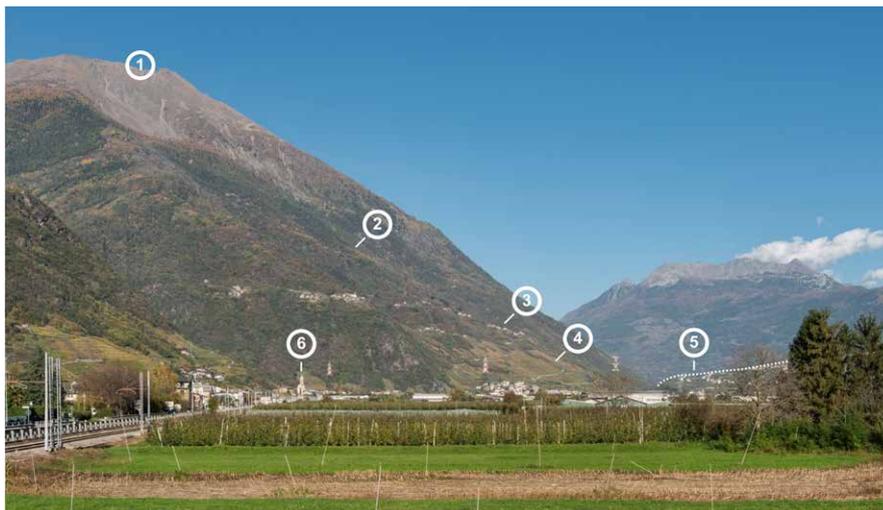


Fig. 6 - La DGPV del Monte Masuccio e il conoide di Sernio viste dal sito del Ponte di Sasso. 1) Porzione della zona di distacco; 2) Parte intermedia; 3) Abitato di Baruffini; 4) Piede; 5) Profilo del conoide di Sernio con la scarpata terminale verso il fiume Adda; 6) Santuario della Madonna di Tirano.

frana, da ammassi rocciosi molto fratturati, da un sistema di giunti inclinati a 65° verso il pendio e da evidenze di DGPV. L'assenza di tracce di erosione glaciale e la presenza di

depositi glaciali solo in una stretta fascia a monte della scarpata sommitale indicano che la Valchiosa si è formata dopo l'ultima glaciazione. Le scarpate terminali del conoide, alte, scoscese ed estese, sono legate all'erosione esercitata dall'Adda e interessate da evidenti fenomeni di instabilità. I depositi affioranti lungo le scarpate sono attribuibili a ripetute colate di detrito. Sondaggi eseguiti a monte del conoide hanno rilevato, fino a qualche chilometro di distanza e a varie profondità, depositi di limo e argilla, indicativi della presenza

di bacini lacustri e di diversi episodi di sbarramento.

Le caratteristiche dell'area suggeriscono che la Valchiosa e il conoide di Sernio siano stati generati dallo scivolamento, lungo i giunti prima menzionati, di un enorme volume di ammasso roccioso, seguito dalla sua trasformazione in una valanga di roccia/valanga di detrito\* e dalla formazione del conoide. Quest'ultimo ha sbarrato il corso dell'Adda originando un lago. Successive colate detritiche hanno, nel tempo, ricoperto l'ammasso di frana e regolarizzato la superficie topografica, creando la dolce morfologia della campagna di Sernio, per lo più coltivata a meleti. Il volume del collasso iniziale e quello attuale del conoide possono essere stimati, seppure con molta incertezza, rispettivamente in un miliardo di m<sup>3</sup> al massimo e circa 500 milioni di m<sup>3</sup> (De Finis et al., 2015). L'azione erosiva dell'Adda ha inciso lo sbarramento naturale causando lo svuotamento del lago, e contribuendo a modellare, insieme ai fenomeni di instabilità, le scarpate del conoide. Queste ultime sono anche oggi soggette a franamenti e possono essere erose al piede dal fiume in occasione di particolari eventi di piena.



Fig. 7 - Il conoide di Sernio e la retrostante Valchiosa visti da Baruffini.

## LA FRANA DELLA VAL POLA E IL MEMORIALE DI AQUILONE

La frana della Val Pola, staccatasi dal versante est del monte Zandila, in Alta Valtellina, è stato l'evento con le dimensioni più grandi, e le conseguenze peggiori, degli eventi meteorici eccezionali che hanno colpito le Alpi Centrali nel luglio del 1987 (Fig. 8). Un bell'articolo divulgativo del Bollettino Storico Alta Valtellina (Angeloni, 2011) descrive quanto avvenuto dal punto di vista geologico e umano, e contiene un ricco repertorio fotografico.

La frana, anch'essa una geosito della Provincia di Sondrio, rappresenta la riattivazione di una paleofrana che si estendeva su 700 m di dislivello, tra le quote 2350 e 1650 m s.l.m., e aveva una nicchia delimitata da una scarpata continua di circa 700 m di lunghezza e 100 m di altezza massima, congiunta lateralmente a due fratture subverticali dirette est - ovest (Agostoni et al., 1997; Crosta, 2011; Angeloni, 2011, in particolare Fig. 22). La Val Pola, profondamente incisa dall'omonimo torrente, si sviluppava sul lato sinistro



Fig. 8 - La frana della Val Pola. Si notino i lobi di detrito formati al piede della frana, l'argine di contenimento del materiale e la vegetazione arborea a prevalenti larici, con individui all'incirca coevi, cresciuta successivamente.

della frana (a destra nella **Fig. 8**). La **Tab. 1** riassume la cronologia degli eventi.

La sistemazione definitiva dell'area comprende interventi su entrambe le sponde. Sulla destra idrografica, l'accumulo di frana è stato riprofilato con la creazione di un argine per contenere i materiali dilavati e limitare il riempimento delle opere a valle (Angeloni, 2011). Lungo il corso dell'Adda sono state realizzate briglie per ridurre il trasporto solido e l'erosione fluviale. Sulla sinistra idrografica, l'accumulo è stato rimodellato con gradoni rinforzati da armature metalliche, e la strada verso Bormio – distrutta dalla frana - è stata ripristinata. Le gallerie di *bypass*, realizzate per svuotare il lago, sono ancora esistenti.

Il Memoriale delle Vittime, realizzato ad Aquilone e inaugurato nel 2007, è una testimonianza collettiva di dolore, ricordo, determinazione e partecipazione (**Fig. 9**). Le vittime sono commemorate con foto e nomi su blocchi di roccia posti subito a sinistra della piccola chiesetta. All'interno di quest'ultima un affresco ricorda l'evento, mentre sul muro esterno orientale altre immagini narrano il succedersi degli avvenimenti. Nella tranquilla area verde del Memoriale si trova la vecchia fontana di Aquilone, sopravvissuta all'onda distruttiva, danneggiata durante i lavori sul corpo di frana e successivamente restaurata (Angeloni, 2011).

**CRONOLOGIA DEGLI EVENTI IMMEDIATAMENTE PRECEDENTI E SUCCESSIVI ALLA FRANA DELLA VAL POLA**

<b>18-19 luglio 1987:</b>	Intense precipitazioni causano crolli di roccia, esondazioni e colate di detrito nella Val Pola; queste ultime formano un conoide che sbarra l'Adda, creando un lago di 50.000 m <sup>3</sup> e profondità tra 1 e 5 m.
<b>25 luglio 1987:</b>	Una frattura di 600 m, che si estende progressivamente a 900 m, si sviluppa alla sommità della paleofrana. Viene dato l'allarme, si avvia il monitoraggio e vengono sgomberati alcuni abitati, ma non la frazione Aquilone che non si ritiene possa essere coinvolta.
<b>28 luglio 1987, ore 7:23:</b>	Una massa rocciosa di 34 milioni di m <sup>3</sup> si stacca dal Monte Zandila, trasformandosi in una valanga di roccia che ingloba altri 5-8 milioni di m <sup>3</sup> di detriti, risale per 300 m sul versante opposto, e si propaga per 1,5 km a valle e 1 km a monte.
<b>28 luglio 1987:</b>	L'impatto della frana con il fondovalle e il lago genera un'onda di fango alta fino a 95 m, che percorre 2,7 km, raggiunge la frazione di Aquilone, abbatte alcune abitazioni e uccide 28 persone (21 residenti e 7 operai). Gli abitati di Sant'Antonio Morignone, Morignone, Poz e Tirindrè vengono distrutti. L'accumulo di frana forma un nuovo sbarramento sull'Adda, creando un lago di 760.000 m <sup>2</sup> . Per mitigare il rischio, vengono installate stazioni di pompaggio e costruite due gallerie di <i>bypass</i> per svuotare il lago.
<b>23-26 agosto 1987:</b>	Nuove intense piogge fanno alzare rapidamente il livello del lago, portando a ordinanze di sgombero per molti abitati a valle.
<b>27 agosto 1987:</b>	Si decide la tracimazione controllata del lago tramite l'immissione di acque dalla diga di Cancano. Il processo è monitorato per prevenire crolli dello sbarramento.
<b>1 settembre 1987:</b>	Termina la tracimazione controllata del lago.

**Tab. 1** - Riassunto della cronologia degli eventi.



**Fig. 9** - Il Memoriale Vittime Frana della Val Pola.

## IL CONOIDE DEL TORRENTE MIGIONDO

Tornati in Media Valtellina, all'altezza dell'abitato di Sondalo si deve imboccare - in sinistra idrografica dell'Adda - il Sentiero Valtellina, un bellissimo itinerario ciclopedonale di 114 km che si estende da Colico, all'apice del lago di Como, fino a Bormio. Camminando verso valle lungo il sentiero si cominciano a notare, sulla destra, le alte scarpate alla base del conoide del torrente Migiondo, su cui si sviluppano parte dell'abitato di Sondalo e le frazioni Sommacologna e Migiondo. Il conoide si allunga per circa 1,3 km all'interno della valle

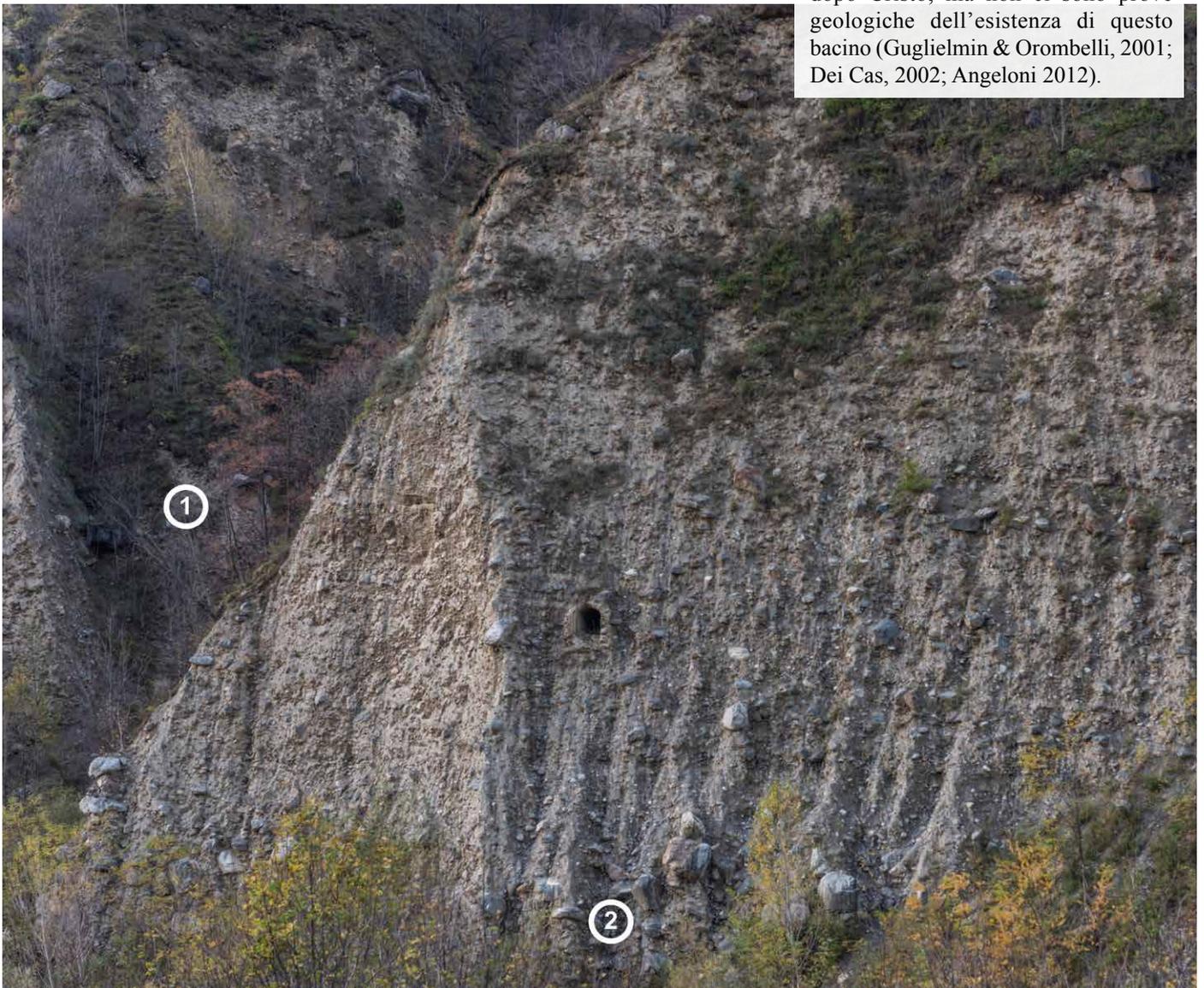
retrostante, occupa un'area di 1,2 km<sup>2</sup>, e si sviluppa parallelamente all'Adda da Sondalo fino a poco oltre Migiondo. La migliore vista sulle scarpate si ha in corrispondenza della confluenza tra il torrente e l'Adda, dove le pareti raggiungono un'altezza di circa 100 m (Fig. 10).

La genesi del conoide, come nel caso di Sernio, si può far risalire a una valanga di roccia il cui accumulo è stato successivamente ricoperto da colate detritiche (Guglielmin & Orombelli, 2001). A una valanga di roccia si possono attribuire i materiali alla base della scarpata, contenenti blocchi rocciosi disposti caoticamente, sopra i quali si sviluppano depositi rozzamente stratificati riconducibili a colate detritiche successive. Sondaggi eseguiti

nell'area hanno confermato la presenza di depositi di frana e di un bacino lacustre che doveva estendersi poco oltre Sondalo, raggiungendo all'incirca un'area di 0,7 km<sup>2</sup> e una profondità massima di 30 m.

Il conoide del torrente Migiondo, quindi, ha sbarrato il corso dell'Adda innalzando il piano di campagna e formando un lago a monte. Il fiume ha poi eroso lo sbarramento originando le scarpate, e il torrente, raccordandosi via via al suo livello, ha inciso una profonda forra.

Datazioni radiometriche dei depositi lacustri fanno risalire l'evento a circa 8700 anni fa, dopo l'ultimo periodo glaciale. Racconti e documenti locali narrano di una frana e della presenza di un lago a Sondalo nel V o XII secolo dopo Cristo, ma non ci sono prove geologiche dell'esistenza di questo bacino (Guglielmin & Orombelli, 2001; Dei Cas, 2002; Angeloni 2012).



**Fig. 10** - Le scarpate del conoide del torrente Migiondo. 1) Forra allo sbocco del torrente sul fiume Adda; 2) Depositi alla base della scarpata interpretabili come accumulo di una valanga in roccia.

## Una riflessione finale

L'escursione descritta tocca zone del fondovalle valtellinese interessate, anche in tempi recenti, da eventi geologici di grande intensità, ma fenomeni come le colate detritiche e le frane, anche quando non estremi, rappresentano significativi fattori di pericolosità. La pericolosità si trasforma in rischio effettivo per la presenza di elementi vulnerabili come persone, case e centri abitati, infrastrutture e aree produttive ed agricole. La visita si svolgerà normalmente in condizioni di tranquillità meteorologica e geologica, ma è importante ricordare che le forme osservate, anche quando sono testimonianza di eventi passati, sono al contempo un monito per il futuro.

## NOTE SUL PERCORSO

L'elenco seguente contiene i nomi e i *link Google Maps* di località menzionate nel testo o connesse al percorso. Tutte le fotografie dell'articolo sono a cura di Giovanni Libera.

### Conoide del Tartano

<https://maps.app.goo.gl/6A6oBKKHHUi2zqfE7>

### Punt de Sass

<https://maps.app.goo.gl/Zy2ZZzd8Fh6Xxk8u9>

### Santuario della Madonna di Tirano

<https://maps.app.goo.gl/f5ZxKGPcLbAPiTwV8>

### DGPV del Monte Masuccio e località Baruffini

<https://maps.app.goo.gl/PisNqmAZira1N7Rd7>

### Sernio

<https://maps.app.goo.gl/nT165UwzoiFh1R7i6>

### Valchiosa

<https://maps.app.goo.gl/keDLjKZXVEmdkBZt6>

### Punto di osservazione della frana della Val Pola

<https://maps.app.goo.gl/bmp4dnm9JTC8WTiu6>

### Memoriale delle Vittime Frana della Val Pola

<https://maps.app.goo.gl/H9zKfdPSrrr8fU6E6>

### Punto di osservazione delle scarpate del conoide del torrente Migiondo

<https://maps.app.goo.gl/9uyuRHyyuffpyZNd7>

In caso di difficoltà il conoide del Tartano e la frana del Pizzo della Pruna sono visibili anche dall'abitato di Desco, frazione di Morbegno.

## GLOSSARIO

**Conoide:** deposito a forma di ventaglio che si forma agli sbocchi delle valli, dove la riduzione della pendenza e del confinamento laterale favorisce la sedimentazione dei detriti trasportati dai corsi d'acqua. Il vertice è rivolto verso lo sbocco vallivo. Alla formazione di un conoide possono contribuire, in modo più o meno significativo o anche predominante, processi come le colate detritiche e le frane.

**Colate detritiche:** miscele di acqua, materiali fini e detriti rocciosi che fluiscono, anche molto rapidamente e spesso in ondate successive, nei torrenti a elevata pendenza o sui versanti. Nel loro percorso possono prendere in carico altri materiali aumentando di volume. Una colata è mostrata nel video di YouTube al [link www.youtube.com/watch?v=Fsh5E9m3PrM](http://www.youtube.com/watch?v=Fsh5E9m3PrM).

**Geosito:** località, area o territorio in cui è possibile individuare un interesse geologico o geomorfologico per la conservazione (Wimbledon, 1996).

**Deformazioni gravitative profonde di versante (DGPV):** movimenti di grandi dimensioni che possono interessare interi versanti e coinvolgere spessori di roccia anche superiori al centinaio di metri; si sviluppano per deformazione interna dell'ammasso roccioso e non richiedono una superficie o di una zona di rottura continua. Di solito evolvono lentamente e impercettibilmente (mm/anno), ma possono presentare porzioni molto attive che generano processi franosi più rapidi e pericolosi.

**Valanghe di roccia e valanghe di detrito:** le valanghe di roccia spesso hanno origine da altri tipi di frane, come scivolamenti e distacchi di ammassi rocciosi, e comprendono grandi volumi di detriti che si muovono in modo simile a un fluido con velocità elevate. Nel percorso possono inglobare altri materiali, aumentando di volume e trasformandosi in valanghe di detrito. Una valanga in roccia si osserva nel breve video di YouTube all'indirizzo [www.youtube.com/shorts/SK38UDPhQEk](http://www.youtube.com/shorts/SK38UDPhQEk). Si noti il rilevante cambiamento della morfologia del versante dopo il distacco.

## BIBLIOGRAFIA

Agostoni S., Laffi R. & Sciesa E. (1997). *Centri abitati instabili della Provincia di Sondrio*. Pubblicazione CNR - GNDICI n. 1580.

Angeloni S. (2011). *La frana della Val Pola - Cronaca geologica degli eventi in Valdisotto e in provincia di Sondrio dell'estate del 1987*. Bollettino Storico Alta Valtellina, 14. [www.cssav.it/wp-content/uploads/2023/05/Bsav-14-Angeloni.pdf](http://www.cssav.it/wp-content/uploads/2023/05/Bsav-14-Angeloni.pdf)

Angeloni S. (2012). *La fragilità delle nostre valli: breve excursus tra storia e morfologia del territorio*. Bollettino Storico Alta Valtellina, 15. [www.cssav.it/wp-content/uploads/2023/05/Bsav-15-Angeloni.pdf](http://www.cssav.it/wp-content/uploads/2023/05/Bsav-15-Angeloni.pdf)

Crosta G.B., Frattini P., Fusi N. & Sosio R. (2011). *Formation, Characterisation and Modeling of the Val Pola Rock-Avalanche Dam (Italy)*. In Evans, S., Hermann r., Strom A., Scarascia-Mugnozza G. (eds.), *Natural and Artificial Rockslide Dams, Lecture Notes in Earth Sciences*, 133, 347-367. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-04764-0\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-642-04764-0_12)

De Finis E., Gattinoni P. & Scesi L. (2015). *The Genesis of the Anomalous Sernio Fan, Valtellina, Northern Italy*. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 9(10).

<https://publications.waset.org/10002549/the-genesis-of-the-anomalous-sernio-fan-valtellina-northern-italy>

Dei Cas L. (2002). *Quando a Sondalo c'era il lago*. Bollettino Storico Alta Valtellina, 5. [www.cssav.it/wp-content/uploads/2023/05/Bsav-05-14-Dei-Cas-Lago-Sondalo.pdf](http://www.cssav.it/wp-content/uploads/2023/05/Bsav-05-14-Dei-Cas-Lago-Sondalo.pdf)

Francani V. (2017). *Il dissesto idrogeologico della Val Tartano*. [www.engeology.eu/sites/default/files/event-attach/il\\_dissesto\\_idrogeologico\\_della\\_val\\_tartano.pdf](http://www.engeology.eu/sites/default/files/event-attach/il_dissesto_idrogeologico_della_val_tartano.pdf)

Guglielmin M. & Orombelli G. (2001). *Il cono di deiezione terrazzato allo sbocco della valle di Migondo presso Sondalo (Valtellina)*. Istituto Lombardo, Italia, 135, 87-100.

Masa S. (2014). *Il ponte solitario, nel bizzarro corso dell'Adda*.

<https://www.adfontes.it/biblioteca/scaffale/dcvvia/files/58%20Masa-Villa%20Tirano%20ponte.pdf>

Regione Lombardia e IREALP (2008). *I Geositi della Provincia di Sondrio*.

[www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DetailPubblicazione/Scopri-la-Lombardia/territorio-e-popolazione/geositi-provincia-sondrio](http://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DetailPubblicazione/Scopri-la-Lombardia/territorio-e-popolazione/geositi-provincia-sondrio)

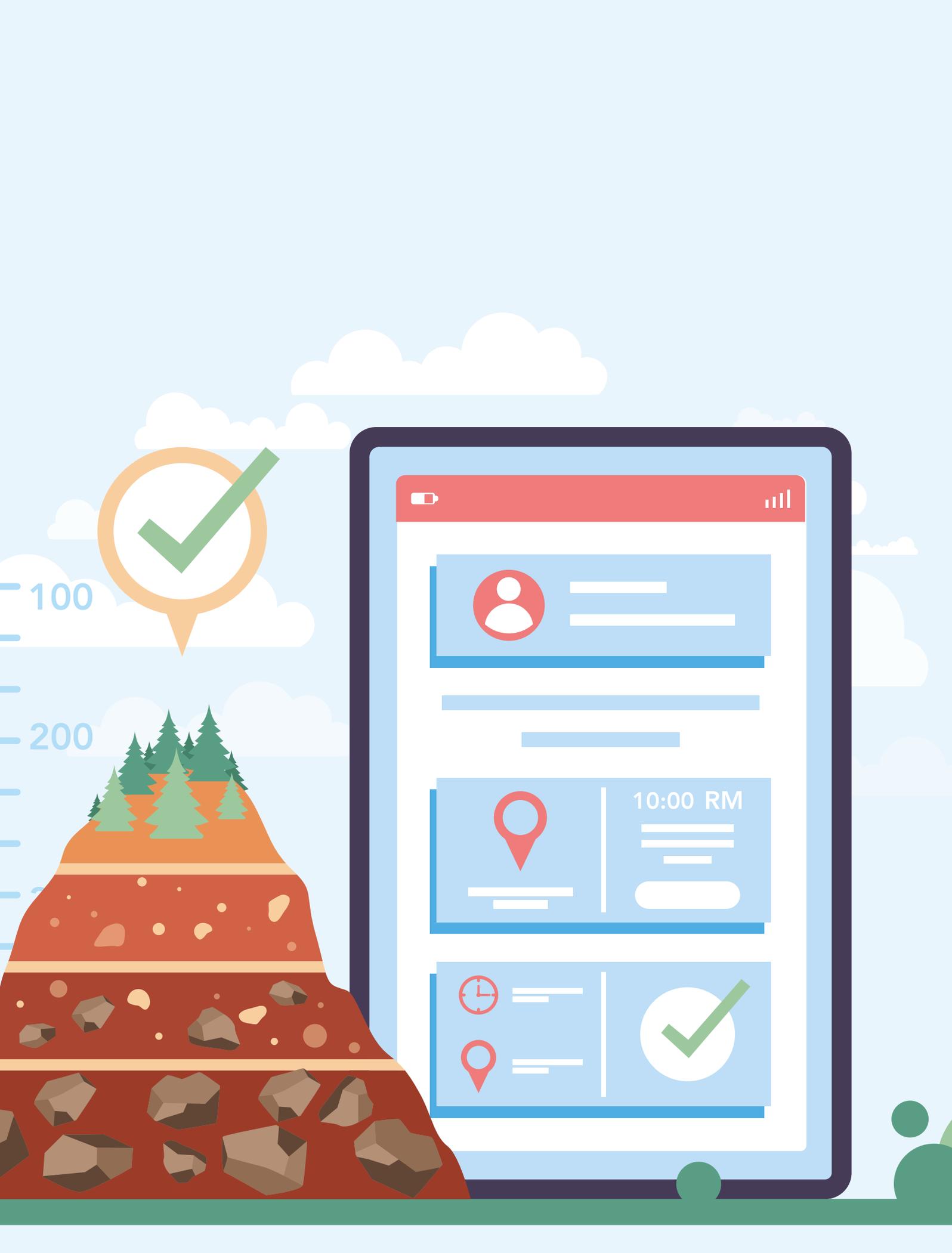
Wimbledon W.A.P. (1996). *Geosites—A New Conservation Initiative*. *Episodes*, 19, 87-88.

<http://dx.doi.org/10.18814/epiugs/1996/v19i3/009>

# LA DIGITALIZZAZIONE DEL PATRIMONIO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO: *esempi italiani dal progetto UNESCO IGCP 714*

a cura di Irene Maria Bollati, Anna Masseroli, Eugenio Fazio, Cristina Viani,  
Manuel Roda, Manuela Pelfini, Gianluca Tronti, Barbara Aldighieri,  
Tiziana Apuani e Michele Zucali

**I**l patrimonio geologico italiano è ricco e variegato soprattutto in relazione alla geodiversità del territorio nazionale. Esso rappresenta una georisorsa per la società che necessita quindi di indicazioni specifiche e strumenti appropriati per la sua conservazione e/o fruizione sostenibile. Grazie all'avvento delle tecnologie digitali è possibile elaborare modelli digitali 3D dei siti rappresentativi del patrimonio geologico, utili sia per il monitoraggio dei siti stessi, sia per la divulgazione delle Scienze della Terra. Nel presente contributo si illustrano esempi relativi al progetto UNESCO IGCP 714 (“3GEO – Geoclimbing & Geotrekking in Geoparks”). Dalla scala del singolo campione di roccia fino alla scala di interi affioramenti o itinerari geoturistici, questi prodotti digitali si rivelano utili per la divulgazione e le attività didattiche con le scuole, aumentando la consapevolezza, già nei fruitori più giovani, del valore di queste georisorse che ci raccontano la storia passata e attuale del nostro Pianeta.





**Irene Maria Bollati**  
Università degli Studi di Milano.

**Anna Masseroli**  
Università degli Studi di Milano

**Eugenio Fazio**  
Università degli Studi di Catania

**Cristina Viani**  
Università degli Studi di Torino

**Manuel Roda**  
Università degli Studi di Milano

**Manuela Pelfini**  
Università degli Studi di Milano

**Gianluca Tronti**  
Università degli Studi di Milano

**Barbara Aldighieri**  
CNR – IGAG, Milano

**Tiziana Apuani**  
Università degli Studi di Milano

**Michele Zucali**  
Università degli Studi di Milano

### Keywords

- ▶ Patrimonio geologico
- ▶ Tecnologie digitali
- ▶ Geoconservazione
- ▶ Fruizione sostenibile

## INTRODUZIONE

L'avvento delle nuove tecnologie sta rapidamente ampliando il campo degli strumenti della ricerca scientifica e contribuendo alla modernizzazione delle strategie di divulgazione dei risultati ottenuti dalla stessa ricerca scientifica. Per superare difficoltà logistiche, e ovviare alla necessità di raggiungere e studiare siti remoti, per acquisire immagini di sempre maggiore dettaglio che consentano di ricostruire la dinamica del nostro Pianeta sul lungo (storia geologica) o sul breve periodo (processi superficiali), l'utilizzo di dispositivi tecnologicamente avanzati come SAPR (Sistemi Aeromobili Pilotaggio Remoto), *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) e tablet equipaggiati con sensori LiDAR (*Light Detection and Ranging*) sta diventando una prassi comune tra geoscientisti (e.g., Telling et al., 2017; Andresen & Schultz-Fellenz, 2023). Anche la divulgazione, per esempio in aree specifiche come i geoparchi, sta beneficiando degli strumenti tecnologici digitali, sia per l'acquisizione di dati, sia per la loro diffusione (e.g., Fassoulas et al., 2022). L'acquisizione di immagini digitali di porzioni della superficie terrestre a diversa scala, dal singolo campione di roccia (mesoscala), fino alla scala dell'affioramento e delle forme del rilievo (macroscala), permette infatti di realizzare modelli tridimensionali digitali, valutarne la variazione morfologica nel tempo, condividerli, rendendoli consultabili in autonomia in qualsiasi momento, sia da utenti specializzati che da fruitori generici, attraverso portali specifici (es. SketchFab, WebGIS)

o tramite condivisione di video (es. YouTube). Ci si focalizzerà in questo articolo sulle applicazioni che risultano particolarmente significative nell'ambito della ricerca sul patrimonio geologico e geomorfologico favorendone una sostenibile promozione e una valorizzazione e, dove necessario, la loro geoconservazione (e.g., Williams & McHenry, 2020; Fassoulas et al., 2022; Hincapiè et al., 2023; Pasquarè Mariotto et al., 2023). In questo ambito, il progetto IGCP 714 dal titolo “3GEO - *Geoclimbing & Geotrekking in Geoparks*” ([www.unesco.org/en/igpp/igcp-projects/714](http://www.unesco.org/en/igpp/igcp-projects/714)), finanziato dall'UNESCO nell'ambito dell'*International Geoscience Programme* (IGCP) nel periodo 2021-2024 (Bollati et al., 2024a, b), ha come obiettivo principale la creazione di un *workflow* specifico per la generazione di modelli digitali 3D di siti del patrimonio geologico e geomorfologico fruibili tramite attività *outdoor* (es., *trekking*, arrampicata sportiva). In particolare, il *focus* è posto sull'utilizzo di tecnologie innovative, per affiancare le tradizionali tecniche di divulgazione, volte alla valorizzazione digitale dei siti di interesse geologico e geomorfologico in aree di geoparco, o che aspirino a diventarlo. I siti selezionati dai diversi paesi coinvolti (14 nel 2024) sono quindi localizzati lungo itinerari escursionistici o sono affioramenti equipaggiati per l'arrampicata sportiva. Infatti, negli ultimi anni, le attività *outdoor* (e.g., *trekking*, *climbing*, *rafting*, *biking*) stanno acquisendo sempre maggior importanza nella didattica e nella promozione delle Scienze della Terra (García-Rodríguez & Fernández-Escalante, 2017; Ruban & Ermolaev, 2020; Bollati et al., 2023; Senese et al., 2023) tanto da spingere la comunità scientifica a coniare

termini specifici come “*geoclimbing*” (Bollati et al., 2014; García-Rodríguez & Fernández-Escalante, 2017). L'approccio digitale consente anche di valorizzare la multiscalarità delle Scienze della Terra: dal campione all'affioramento, fino a interi itinerari geoturistici, dalla scala centimetrica a quella chilometrica. Tale approccio multiscale permette anche la realizzazione di percorsi didattici specifici (Bollati et al., 2018, 2024a) che permettano l'osservazione di rocce, e la percezione della ricchezza della loro varietà (i.e., geodiversità litologica), a diverse scale di dettaglio (Bollati et al., 2024a). L'acquisizione di dati, dalla scala del campione a quella dell'itinerario, sugli affioramenti o su singoli dettagli degli stessi, può avvenire con metodologie selezionate e adatte alla scala dell'oggetto in analisi e dello scopo della digitalizzazione. Per esempio l'utilizzo di fotocamere *reflex* digitali e *tablet* con sensori LiDAR specifici è appropriato per oggetti di piccole-medie dimensioni, mentre l'utilizzo di SAPR, e ove possibile anche di elicottero, è funzionale per le riprese di oggetti di notevoli dimensioni da diverse prospettive. Queste acquisizioni permettono di analizzare le caratteristiche petrografiche e morfologiche e di creare modelli digitali 3D che includano, nel caso dei siti adibiti alla pratica dell'arrampicata sportiva o del *trekking*, anche informazioni sulle relazioni con gli elementi utili alla progressione dell'arrampicatore e alla difficoltà dell'itinerario in relazione alla morfologia del territorio e ai processi che lo modellano. La raccolta dei modelli georeferenziati in una piattaforma *online* permetterà infine di accedere virtualmente ai siti, superando l'ostacolo della distanza geografica

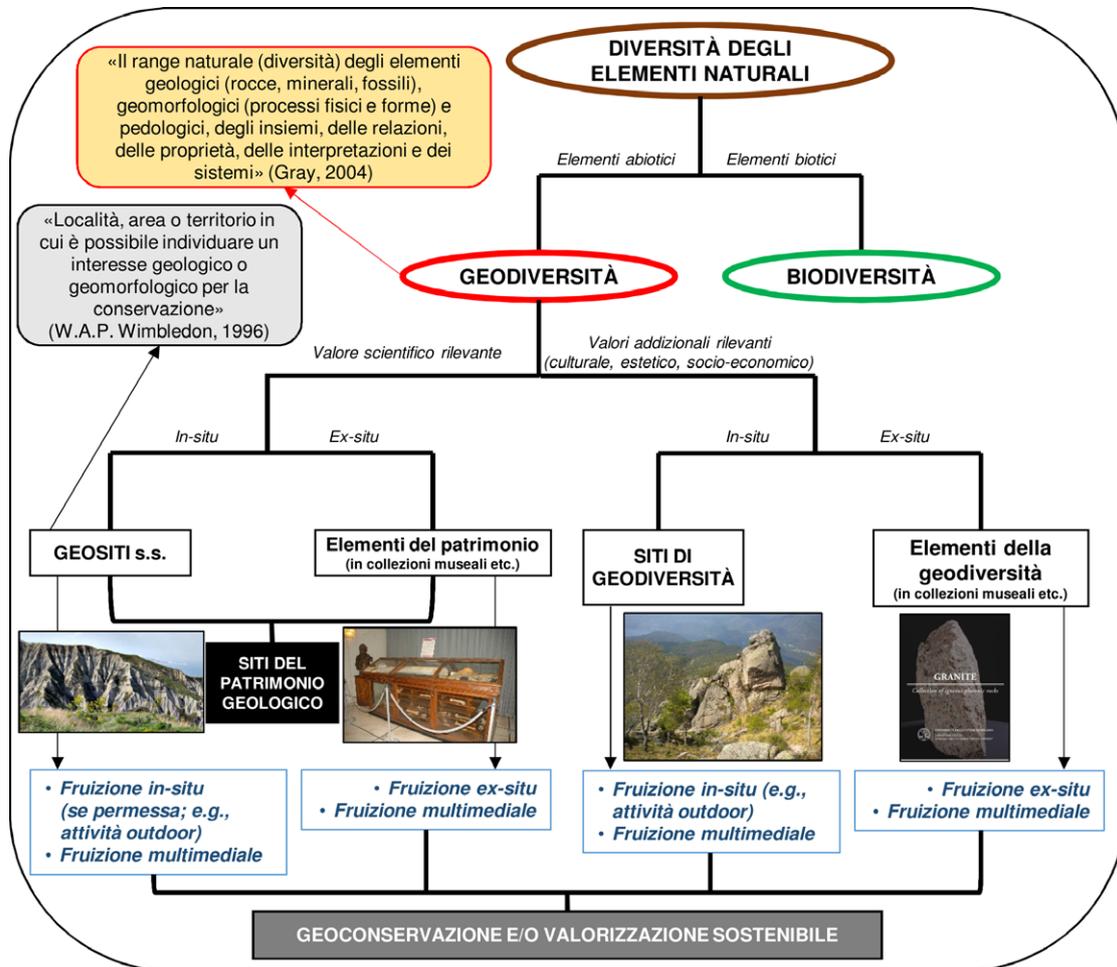


Fig. 1 - Schema concettuale di distinzione tra siti di geodiversità e geositi s.s. (modificato da Brilha, 2016).

e dell'inaccessibilità. L'immersione digitale consentirà al fruitore di conoscere il valore scientifico del sito, favorendone così la promozione e la valorizzazione; l'utente incuriosito potrà eventualmente pianificare, future

visite ai siti stessi. Il connubio tra attività *outdoor* e digitalizzazione del patrimonio geologico è finalizzato, sia in ambito scolastico che esternamente, ad una fruizione sostenibile a 360° dei siti del patrimonio e a un incremento di

consapevolezza nel fruitore sul valore di questi siti per la ricostruzione della storia della Terra, favorendo anche il perseguimento degli obiettivi dello sviluppo sostenibile dell'Agenda 2030 (per dettagli Bollati et al., 2023; 2024b).

## LA DIGITALIZZAZIONE DEL PATRIMONIO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Sulla definizione di geodiversità e geosito si imposta l'approccio alla geoconservazione e/o alla valorizzazione sostenibile dei siti caratterizzati da valenze scientifiche geologiche e geomorfologiche. In Fig. 1, sono riassunte le principali definizioni (i.e., geosito e geodiversità) ed è riportato uno schema concettuale di distinzione tra i siti di geodiversità e i geositi s.s., modificato sul modello di Brilha (2016). Mentre i primi sono rappresentativi della varietà degli elementi

geologici e geomorfologici di un territorio, i secondi, più rari, sono quelli che hanno anche un valore scientifico rilevante che li rende testimonianze uniche della storia del Pianeta Terra. In particolare, si desidera porre l'attenzione sul fatto che, a parte gli elementi già situati in collezioni museali protette, per i siti di geodiversità o i geositi s.s. è sempre auspicabile un approccio alla geoconservazione, nel caso di elementi fragili e degradabili, ma anche a una valorizzazione sostenibile in

modo da incrementare l'apprezzamento della Società verso le georisorse. Al fine di preservare, ma anche divulgare in maniera sostenibile la geodiversità e gli elementi della stessa, anche caratterizzati da alto valore scientifico (geositi s.s.), la digitalizzazione ha di recente aperto le porte a una fruizione più globalizzata e allo stesso tempo più volta alla geoconservazione. Molti sono gli esempi di creazione di modelli digitali 3D e di realtà virtuale e aumentata attraverso diversi strumenti (Williams & McHenry, 2020; Hincapiè et al., 2023; Pasquarè Mariotto et al., 2023), anche specificatamente nei Geoparchi della rete globale UNESCO (e.g., geoitinerario di Nida, Geoparco globale UNESCO di Psiloritis, Isola di Creta; <https://tours.nhmc.uoc.gr/geoparks/nida/>; Fassoulas et al., 2022). Tali modelli si prestano alla diffusione tramite apposite app digitali e QR Code dedicati (e.g., Perotti et al., 2020), sia per prepararsi in vista di una visita su campo, sia per favorire l'accesso da remoto a siti lontani, fragili o degradabili, o caratterizzati da pericolosità che potrebbero favorire l'insorgere di scenari di rischio (Bollati et al., 2024b).

Alla base della procedura c'è una fase di acquisizione di dati su campo attraverso diversi sistemi come fotocamere digitali, SAPR, elicotteri, ma anche *tablet* o *smartphone* con sensori LiDAR. In funzione della risoluzione desiderata, dello scopo dell'acquisizione e della scala spaziale dell'oggetto, è possibile scegliere il proprio strumento o anche combinare l'utilizzo di più di uno di questi strumenti. L'elaborazione delle immagini può avvenire successivamente attraverso *software* dedicati

(e.g., Agisoft, Cloud Compare) che permettono di allineare le immagini stesse, di creare un modello tridimensionale (Mesh) da una nuvola di punti (*point cloud*) e colorare il modello, infine, creando una texture a partire dalla colorazione delle immagini native acquisite dallo strumento. Il *file* che ne deriva (e.g., .obj, .glb) può essere gestito da appositi visualizzatori per *computer* o sul *web*, tramite *database* specifici.

Nell'ambito del progetto UNESCO IGCP 714, sono stati sperimentati tutti i diversi strumenti precedentemente elencati per la digitalizzazione sia di geositi s.s. che di siti di geodiversità in geoparchi e in aree aspiranti. I modelli, risultato delle elaborazioni, una volta finalizzati, vengono immagazzinati nel *repository* di Sketch Fab dove è presente la collection "3GEO-IGCP\_714" (<https://skfb.ly/psJYo>) per essere poi collegati in un WebGIS dedicato per la visualizzazione geograficamente riferita con lo sfondo di una carta geologica a scala mondiale (<https://utas-spatial.maps.arcgis.com/apps/instan/basic/index.html?appid=afcfb510af524045a33a64d892966ede>). La fase successiva, ancora in via di realizzazione, consisterà nell'annotazione delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e relative all'attività *outdoor* inerente, sui modelli digitali 3D che il fruitore potrà esplorare *online*. Di seguito si forniscono esempi di digitalizzazione a diversa scala relativi al progetto UNESCO IGCP 714, realizzati durante il progetto stesso, e/o in alcuni casi connessi ad altri progetti, anche per la realizzazione di attività didattiche con le scuole. Ulteriori dettagli su alcuni degli esempi presentati sono reperibili nel lavoro di Bollati et al. (2024b).

## LA DIGITALIZZAZIONE ALLA SCALA DEL CAMPIONE E DELLA MORFOCULTURA

Considerando il patrimonio geologico *ex-situ*, definito da Brilha (2016), cioè le collezioni museali, la loro digitalizzazione può aprire il mondo dei musei all'esterno (fruizione *ex-situ* Fig. 1). A tal proposito, l'acquisizione di modelli digitali 3D e la creazione di contenuti multimediali risulta essere strategica, sia per invogliare alla visita del museo stesso, sia per le possibili applicazioni nelle attività didattiche nelle scuole.

Nel caso della collezione digitale di tettoniti del Dipartimento di Scienze della Terra di Milano "A. Desio", che consta più di 40 modelli 3D provenienti da vari settori delle Alpi, i modelli sono utilizzati per esempio dagli studenti universitari per la visione e lo studio anche da remoto delle rocce deformate, a supporto e integrazione della collezione fisica formata da più di 100 campioni. Tali modelli digitali 3D sono utilizzabili anche nei progetti didattici con scuole superiori sia per

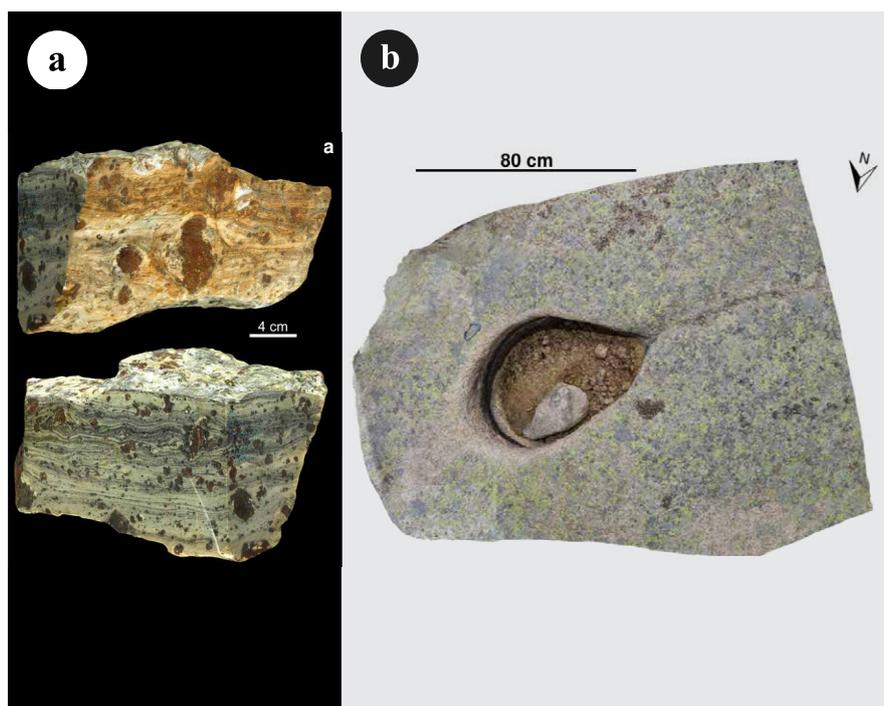


Fig. 2 - Modelli digitali 3D alla scala del campione (a, granulite basica, Unità degli gneiss migmatitici del Massiccio Argentera-Mercantour, [https://youtu.be/R43m\\_6BMOoY?si=Dfhdy\\_07NJ1ptZ8r](https://youtu.be/R43m_6BMOoY?si=Dfhdy_07NJ1ptZ8r)) e della morfoscultura (b, vaschetta di corrosione, granito rosa, Massiccio del Mottarone, <https://skfb.ly/psJYM>).

L'osservazione di diverse tipologie di tettoniti sia come esempio di flusso di lavoro per la realizzazione della propria collezione digitale. Questi contenuti multimediali, insieme a altri appartenenti alla Collezione del Dipartimento di Scienze della Terra "A. Desio", sono stati utilizzati anche nell'ambito di progetti didattici svolti con le scuole e in particolare, nell'ambito del progetto UNESCO IGCP 714, con l'Istituto Comprensivo "Aldo Moro" di Corbetta (Milano). Gli studenti hanno potuto sperimentare l'osservazione e la manipolazione di campioni nel loro laboratorio e rinforzare le conoscenze utilizzando le versioni digitali, per concludere infine l'esperienza con un'attività di *geoclimbing*, sotto la supervisione delle guide alpine, presso il sito di Montestrutto (Piemonte).

In **Fig. 2a**, è rappresentato un modello digitale 3D di un campione di granulite basica proveniente dall'unità degli gneiss migmatitici del Massiccio Argentera-Mercantour. La roccia è formata da granati centimetrici (rossi) e livelli ricchi in anfiboli (neri) e feldspati (bianchi) che marcano una foliazione milonitica di alta temperatura.

Il modello digitale 3D è stato costruito *indoor* mediante acquisizione fotografica a 360°, ponendo particolare attenzione a che le condizioni di luce fossero uniformi e la messa a fuoco si mantenesse costante durante tutta l'acquisizione fotografica. Le immagini sono state poi processate mediante *software Agisoft Metashape* che utilizza la distanza focale e i punti di sovrapposizione per disporre le immagini spazio virtuale e costruire il modello digitale 3D.

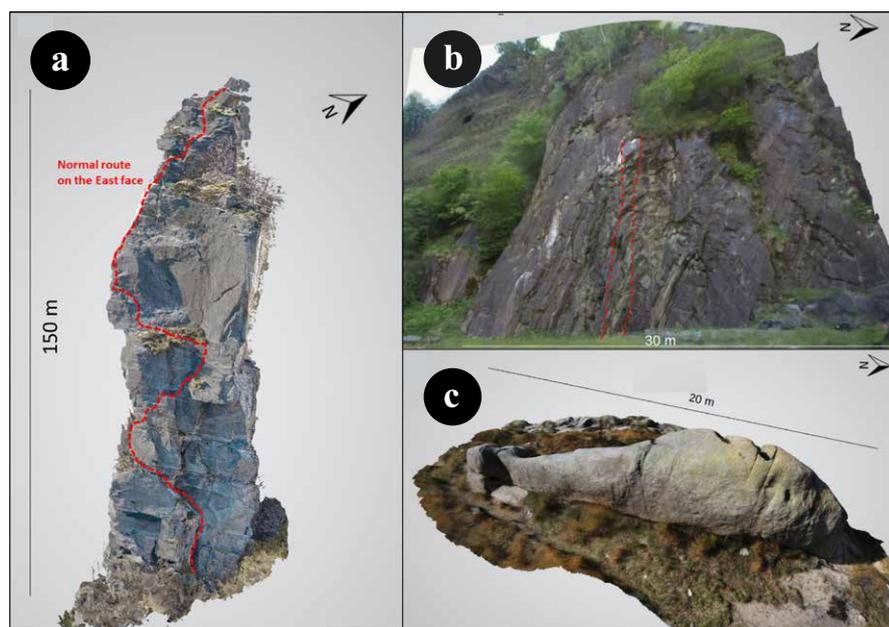
Considerando oggetti geomorfologici a una scala leggermente superiore, ma inferiore al metro, si è scelto il caso di alcune morfosculture generate dall'alterazione meteorica sui graniti rosa permiani del Massiccio del Mottarone (Piemonte settentrionale), area al limitare del Geoparco UNESCO Sesia Val Grande (**Fig. 2b**). La posizione estremamente panoramica della "coppella", su un masso che offre una stupenda vista sul Lago d'Orta, potrebbe suggerire anche un legame con pratiche rituali di popolazioni preistoriche, un'ipotesi che tuttavia richiederebbe maggiori approfondimenti scientifici. Il modello è stato generato da immagini acquisite con una fotocamera DSLR e successivamente elaborando le stesse con il *software Agisoft Metashape Pro 1.8.5* per generare il modello 3D finale.

## LA DIGITALIZZAZIONE ALLA SCALA DELL'AFFIORAMENTO

Alla scala dell'affioramento sono state scelte come esempio due pareti rocciose e un blocco isolato, sui quali si praticano tre diverse discipline dell'arrampicata sportiva: vie lunghe sportive (*multi-pitch*), monotiri e *bouldering*. I siti sono localizzati nel Geoparco UNESCO Sesia Val Grande o nelle aree immediatamente limitrofe. Il primo caso è quello della Torre delle Giavine (**Fig. 3a**), un monolite dovuto alla presenza di una Deformazione Gravitativa Profonda di Versante generatasi in relazione al rilassamento dei versanti nella fase postglaciale. La Torre, un geosito del Geoparco UNESCO Sesia Val Grande (Perotti et al., 2020), è caratterizzata da vie alpinistiche di basso – medio grado, di cui una è tratteggiata in **Fig. 3a**. Il modello 3D è stato realizzato con un SAPR. L'elaborazione è stata realizzata attraverso il *software Agisoft Metashape*.

Il secondo caso è rappresentato dalla falesia di Ornavasso (**Fig. 3b**), modellata nelle metabasiti della Zona Ivrea-Verbano, e caratterizzata da vie adatte anche ai principianti. Interessante è il suo nome (*Im Schlasti*), profondamente radicato nella cultura Walser locale, essendo Ornavasso uno degli insediamenti Walser della Val d'Ossola. Il parcheggio per raggiungere la falesia è anche il punto di partenza di un itinerario geoculturale (*geotrekking*) lungo la Strada Cadorna,

ideale per trattare il rapporto tra morfologia del territorio e scelte strategiche belliche. Infatti, la cresta su cui si dipana l'itinerario si sviluppa in corrispondenza del tratto più stretto della valle fluviale del fiume Toce, che ha incontrato notevoli difficoltà a scavare le resistenti rocce metabasitiche. Questa morfologia è risultata molto favorevole per il passaggio della linea difensiva Cadorna (Bollati et al., 2024a). Il modello è



**Fig. 3** - Modelli digitali 3D alla scala dell'affioramento di siti di arrampicata sportiva nel Geoparco UNESCO Sesia Val Grande e nelle aree immediatamente limitrofe. **a)** Torre delle Giavine (<https://skfb.ly/ps.DXv>); **b)** Falesia Im Schlasti (<https://skfb.ly/ps.JZN>); **c)** La Balena del Mottarone (<https://skfb.ly/ps.JYH>).

stato realizzato con la combinazione di immagini acquisite tramite l'utilizzo di fotocamera *reflex* e SAPR. L'elaborazione è stata fatta con il software Agisoft Metashape Pro 1.8.5.

Il terzo caso selezionato, per la sua iconica morfologia, è il masso utilizzabile per il *bouldering* denominato "La Balena" (Fig. 3c), sul quale, infatti, l'alterazione meteorica ha contribuito a creare vaschette proprio sulla sua superficie sommitale che mimano lo sfiatatoio dell'animale. Il blocco è talmente iconico da dare il nome a questo settore di arrampicata del Massiccio granitico del Mottarone. Tale area è un paradiso per i geomorfologi per via delle esemplari e splendide forme del rilievo legate all'alterazione del granito rosa Permiano, molto rinomato anche come materiale da costruzione. L'area presenta, come accennato precedentemente, anche un incredibile valore estetico per la vista sui bacini lacustri del Lago d'Orta e del Lago Maggiore. Il modello della balena è stato realizzato utilizzando immagini scattate da un SAPR e successivamente elaborate con Agisoft Metashape Pro 1.8.5. Siti come quelli descritti ben si prestano alle attività di *geoclimbing*. Ne sono un esempio le attività realizzate

con alcune scuole lombarde nel 2018 e nel 2019 sotto la supervisione delle guide alpine e del Club Alpino Italiano, presso affioramenti attrezzati per l'arrampicata sportiva in Val d'Ossola e in Val Chiavenna. In quest'ultimo caso, le attività didattiche hanno assunto un respiro più ampio andandosi a collegare a progetti paralleli come il percorso didattico formativo "Alpi in Movimento, Movimento nelle Alpi. Piuro 1618-2018", che ha lo scopo di promuovere l'osservazione degli elementi geologico-ambientali e l'individuazione dei processi che hanno generato e modificato il territorio alpino. Tale realtà progettuale ha visto coinvolti docenti e studenti delle scuole secondarie di secondo grado, ma anche studenti universitari, provenienti da scienze geologiche, ingegneria, architettura e scienze per la conservazione e la valorizzazione dei beni culturali. Con il supporto delle installazioni presso il Centro Internazionale Grandi Frane Alpine (AMALPI Center di Chiavenna) e della guida AMALPI Trek (Apuani & Scapozza, 2023), l'esperienza didattica ha combinato attività in presenza, con esercitazioni pratiche ed escursioni guidate sul territorio.

## LA DIGITALIZZAZIONE ALLA SCALA DEL RILIEVO- ITINERARIO

Aumentando l'ampiezza della visuale, il primo caso che viene proposto è quello della parete nordoccidentale del Monte Pelsa e del Monte Civetta (Dolomiti Bellunesi) (Fig. 4), quest'ultimo percorso da numerosissime vie d'arrampicata. Le pareti di questi due monti permettono di osservare il limite Dolomia Principale-Calcarei Grigi, oltre a una serie di faglie/fratture subverticali di direzione da NO-SE a ONO-ESE che hanno fortemente condizionato l'aspetto a "canne d'organo" della parete. Contestualmente è stata anche realizzata la digitalizzazione della parete rocciosa meridionale della Seconda Pala di San Lucano, lunga circa 1900 m per un dislivello di circa 1500 m, come illustrato da Testa et al.

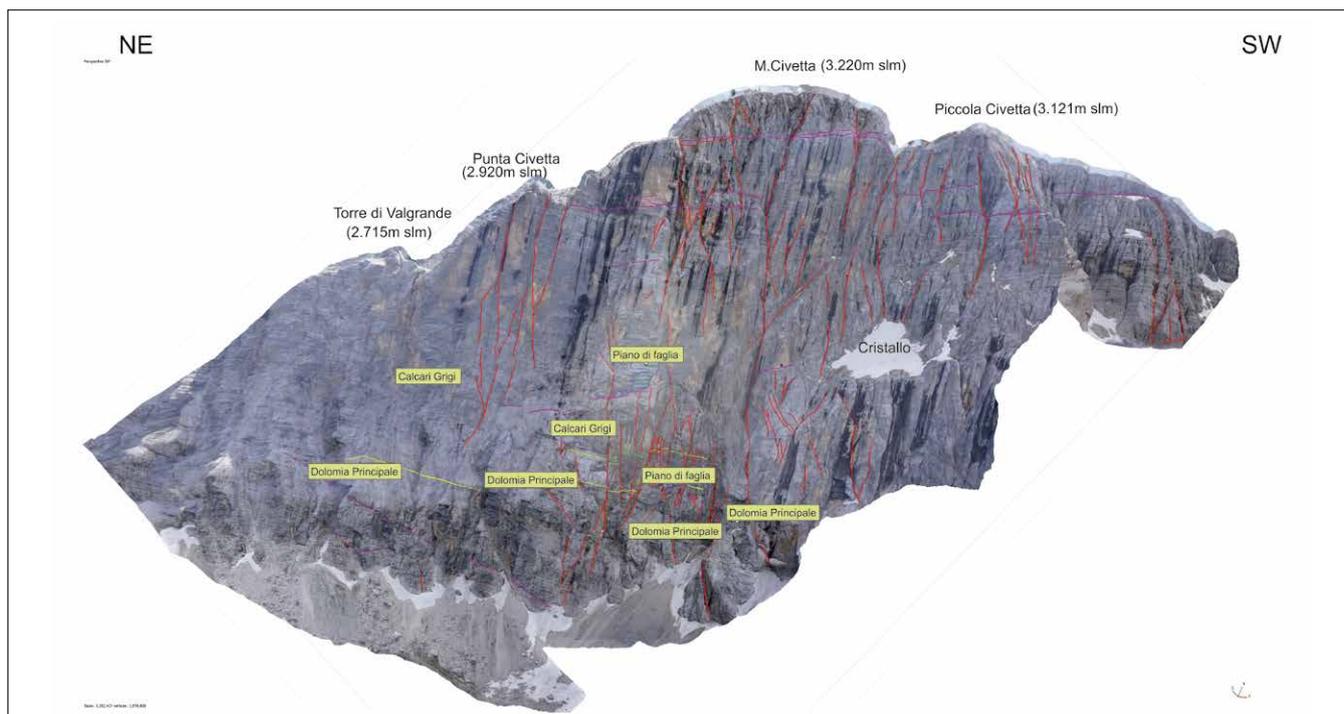


Fig. 4 - Modello digitale 3D della parete nord-occidentale del Monte Civetta (<https://skfb.ly/ptzpo>).



**Fig. 5** - Modello digitale 3D di Monte Capodarso dove si snoda il geo-itinerario della Miniera Giumentaro di zolfo in prossimità della valle del fiume Imera (<https://skfb.ly/ptz6v>).

(2013). Tale modello consente di ricostruire e rappresentare la stratigrafia triassica lungo un intervallo temporale di 20 milioni di anni, e osservare da vicino, poiché difficilmente accessibile, l'anfiteatro glaciale in corrispondenza della sua sommità. Entrambi i siti citati sono localizzati in un'area diventata Patrimonio UNESCO nel 2009. I modelli sono stati realizzati nell'ambito del Progetto "DOLOMIA - La Via della Dolomia: il viaggio della roccia nelle Alpi Dolomitiche - ITAT 2036". Il progetto è stato finanziato nell'ambito dell'Interreg V A Italia-Austria 2014-2020, e finalizzato alla promozione della conoscenza, l'utilizzo condiviso e consapevole della Dolomia attraverso la fruizione e la valorizzazione dei geositi presenti nell'area, e la creazione di un percorso geoturistico interregionale ecosostenibile. L'obiettivo è duplice e comprende sia la ricostruzione della sequenza stratigrafica completa dell'area dolomitica in esame, che la valorizzazione delle conoscenze relative al territorio e la divulgazione al di fuori dell'ambito scientifico (Aldighieri et al., 2016). I modelli realizzati, di cui quello della parete nord-occidentale del Monte Civetta riportato in **Fig. 4**, sono stati anche inseriti nella collezione in Sketchfab del progetto IGCP 714 in quanto significative mete sia per arrampicata su roccia che per itinerari turistici.

La metodologia di acquisizione dati ha previsto l'utilizzo di un elicottero per effettuare riprese aerofotogrammetriche e acquisire una nuvola di punti con Laser Scanner sul piano verticale X-Z per la parete meridionale della II Pala di San Lucano e per la Parete nord-occidentale del Monte Civetta

(**Fig. 4**), e sul Piano X-Y per l'anfiteatro glaciale alla sommità della II Pala di San Lucano. Successivamente le immagini acquisite sono state elaborate tramite *software* Agisoft Metashape Pro (v.1.5.2.). Essendo frutto di un progetto in fase più avanzata rispetto all'IGCP 714, che ne ha recepito i modelli poiché sito di attività di arrampicata sportiva, la ricostruzione 3D è stata anche vestita con informazioni geolitologiche e strutturali, finalizzate alla ricostruzione della sequenza stratigrafica completa.

Sempre alla scala del rilievo, l'ultimo caso proposto è inserito nel territorio del Geoparco UNESCO Rocca di Cerere e riguarda l'itinerario geoturistico nell'area di Monte Capodarso e delle miniere Giumentaro e Trabonella, nella Sicilia centrale. Un altro sito di interesse geo-naturalistico all'interno del geoparco è il parco minerario di Floristella-Grottafalda, una vasta area dove si estraeva lo zolfo sin dal 1800, che dal 2019 è stato incluso nella European Route of Industrial Heritage (ERIH) in relazione al patrimonio archeominerario che lo caratterizza. Nell'area sono stati realizzati due modelli digitali 3D, uno riguardante i picchi di Capodarso e Sabucina (> 3 kmq) (**Fig. 5**), il secondo riguardante una piccola valle (<0.5 kmq) (Forzese et al., 2023). Entrambi sono stati realizzati con un SAPR e le immagini elaborate con *Agisoft Photoscan Professional* (v. 1.8.4) al fine di interpretarne le strutture geologiche, identificare e tracciare itinerari geoturistici sviluppando strumenti operativi per la valorizzazione del territorio.

## BIBLIOGRAFIA

Aldighieri B., Testa B. & Bertini A. (2016). *3D exploration of the San Lucano Valley: virtual georoutes for everyone who would like to understand the landscape of the Dolomites*. *Geoheritage*, 8, 77-90. <https://doi.org/10.1007/s12371-015-0164-x>

Andresen C.G. & Schultz-Fellenz E.S. (2023). *Change Detection Applications in the Earth Sciences Using UAS-Based Sensing: A Review and Future Opportunities*. *Drones*, 7(4), 258. <https://doi.org/10.3390/drones7040258>

Apuani T. & Scapozza C. (2023). *AMALPI TREK: Dal Maloja al Gottardo: Alpi in Movimento-Movimento nelle Alpi*. Milano University Press, 2023 Oct. ISBN 9791255100652. <https://dx.doi.org/10.54103/milanoup.141>

Bollati I.M., Gatti C., Pelfini M.P., Speciale L., Maffeo L. & Pelfini M. (2018a). *Climbing walls in Earth Science education: an interdisciplinary approach for the secondary school (1st level)*. *Rendiconti On Line della Società Geologica Italiana*, 44, 134-144. <https://doi.org/10.3301/ROL.2018.19>

Bollati I.M., Rossi D. & Viani C. (2023). *River outdoor activities: relations with geological background and extreme events and perspectives of geoeducation*. *Geosciences*, 13(4), 122. <https://doi.org/10.3390/geosciences13040122>

Bollati I.M., Zucali M., Giovenco C. & Pelfini M. (2014). *Geoheritage and sport climbing activities: using the Montestrutto cliff (Austroalpine domain, Western Alps) as an example of scientific and educational representativeness*. *Ital. J. Geosci.* 133(2), 187-199. <https://doi.org/10.3301/IJG.2013.24>

Bollati I., Masseroli A., Scanduzzi C., Tronti G., Zucali M. & Pelfini M. (2024a). *Tips for new educational experiences in the secondary school based on outdoor activities and 3D modelling of rock outcrops equipped for climbing*. *Rendiconti Online Della Società Geologica Italiana*, 62, 35-44. <https://dx.doi.org/10.3301/ROL.2024.06>

Bollati I.M., Masseroli A., Al Kindi M., Cezar, L., Chrobak-Zuffová A., Dongre A., Fassoulas C., Fazio E., García-Rodríguez M., Knight J., Matthews J., Pereira Galeno Fraga De Araujo Pereira, R., Viani C., Williams M., Amato G.M., Apuani T., De Castro E., Fernández-Escalante E., Fernandes M., Forzese M., Gianotti F., Goyanes G., Loureiro F., Kandekar A., Koleandrianou M., Maniscalco R., Nikolakakis E., Palomba M., Pelfini M., Tronti G., Zanoletti E., Zerboni A. & Zucali M. (2024b). *The IGCP 714 project "3GEO – Geoclimbing & Geotrekking in Geoparks" – Selection of geodiversity sites equipped for climbing for combining outdoor and multimedia activities*. *Geoheritage*, 16, 79 (2024). <https://doi.org/10.1007/s12371-024-00976-4>

Brilha J. (2018). *Geoheritage: inventories and evaluation*. In: Reynard E, Brilha J (Eds) *Geoheritage, Assessment, Protection, and Management*, Elsevier, pp. 69-85. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00004-6>

Forzese M. (2023). *The response of coastal carbonate parasequences to relative sea-level change and evolving palaeoclimate proxies*. Tesi di dottorato.

García-Rodríguez M. & Fernández-Escalante E. (2017). *Geo-Climbing and environmental education: The Value of la Pedrizca granite massif in the Sierra de Guadarrama National Park, Spain*. *Geoheritage*, 9, 141-151. <https://doi.org/10.1007/s12371-016-0187-y>

Hincapie M., Cifuentes L.M., Valencia-Arias A. & Quiroz-Fabra J. (2023). *Geoheritage and immersive technologies: bibliometric analysis and literature review*. *Episodes*. <https://doi.org/10.18814/epiugs/2022/022016>

Pasquarè Mariotto F., Corti N. & Drymoni K. (2023). *Advanced technologies for geosite visualization and valorization: a review*. *Applied Science*, 13(9), 5598. <https://doi.org/10.3390/app13095598>

Perotti L., Bollati I.M., Viani C., Zanoletti E., Caironi V., Pelfini M. & Giardino M. (2020). *Fieldtrips and virtual tours as Geotourism resources: examples from the Sesia Val Grande UNESCO Global Geopark (NW Italy)*. *Resources*, 9(6), 63. <https://doi.org/10.3390/resources9060063>

Ruban D.A. & Ermolaev A.V. (2020). *Unique geology and climbing: a literature review*. *Geoscience*, 10(7), 259. <https://doi.org/10.3390/geoscience10070259>

Senese A., Pelfini M., Maragno D., Bollati I.M., Fugazza D., Vaghi L., Federici M., Grimaldi L., Belotti P., Lauri P., Ferliga C., La Rocca L. & Diolaiuti G.A. (2023). *The role of E-Bike in discovering geodiversity and geoheritage*. *Sustainability*, 15(6), 4979. <https://doi.org/10.3390/su15064979>

Telling J., Lyda A., Hartzell P. & Glennie C. (2017). *Review of Earth science research using terrestrial laser scanning*. *Earth-Science Reviews*, 169, 35-68. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.04.007>

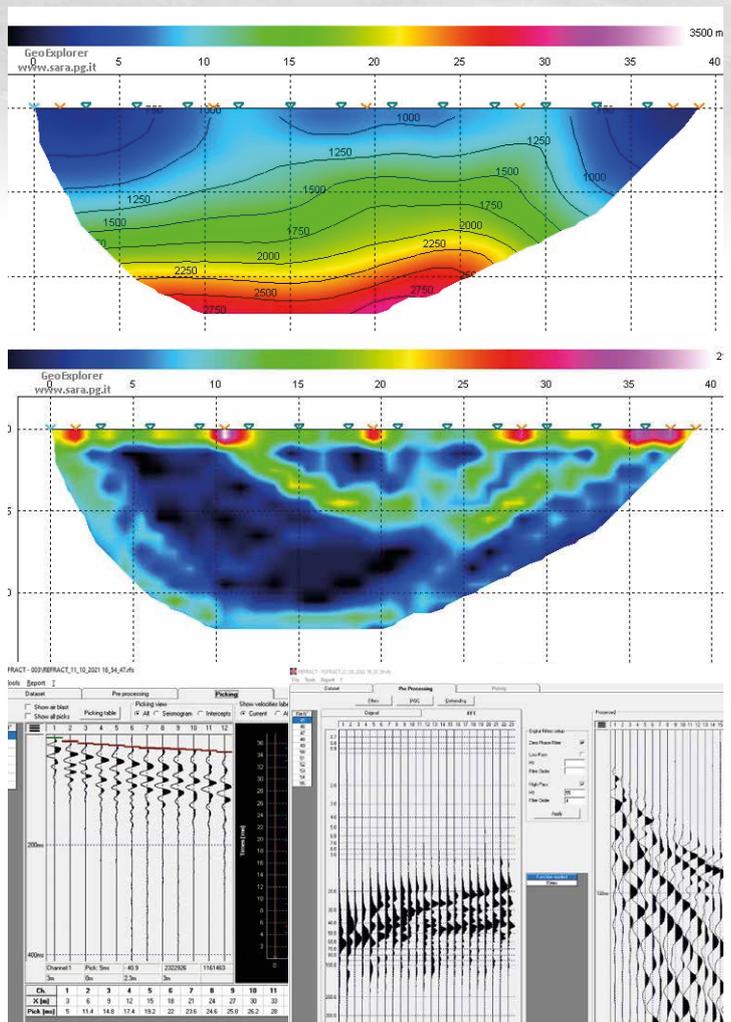
Testa B., Aldighieri B., Bertini A., Blendinger W., Caielli G., de Franco R., Giordano D. & Kustatscher E. (2013). *Geomorphodiversity of the San Lucano Valley (Belluno Dolomites, Italy): a Well-Preserved Heritage*. *Geoheritage*, 5, 151-172. <https://doi.org/10.1007/s12371-013-0079-3>

Williams M. & McHenry M. (2020). *The increasing need for geographical information technology (GIT) tools in geoconservation and geotourism*. *Geoconservation Research*, 3(1), 17-32. <https://doi.org/10.30486/gcr.2020.1901102.10190>



# 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



# TUTTO È INTERAZIONE:

*racconti dalla Zona Critica*

a cura di Antonello Provenzale



**L**a “zona critica” è il sottile strato che va dal fondo dell’acquifero superficiale alla cima della vegetazione, dove avvengono tutti i processi geologici, geomorfologici, chimici, fisici e biologici che sostengono gli ecosistemi terrestri. È lo strato dove “la roccia incontra la vita” e sono particolarmente forti le interazioni fra organismi viventi e mondo inorganico. Acqua, suolo, rocce, vegetazione, microbiota sono alcune delle componenti di questo strato, chiamato “critico” sia perché è essenziale per la nostra sopravvivenza e il nostro benessere, sia perché è seriamente minacciato dai cambiamenti ambientali di origine antropica. In questo contributo vengono esplorati alcuni processi della zona critica, con particolare attenzione agli scambi di carbonio e acqua fra suolo, vegetazione e atmosfera.

L'altopiano del Nivolet con i numerosi meandri disegnati dalla Dora del Nivolet, nella sua discesa verso la Valsavarenche in Valle d'Aosta.



### Keywords

- ▶ Zona critica
- ▶ Interazione geosfera-biosfera
- ▶ Ciclo del carbonio
- ▶ Ciclo idrologico

## TUTTO È INTERAZIONE

Il principale responsabile della visione moderna della natura è il grande scienziato ed esploratore Alexander von Humboldt, che insieme ad Aimée Bonpland ci ha consegnato il “*Naturgemälde*”, il disegno (o quadro) della natura. In una stampa ormai famosissima, il vulcano Chimborazo in Sud America è rappresentato con tutto quello che compone, con inestricabile complessità, l’ambiente circostante (Fig. 1). Una parte del disegno raffigura in modo realistico e coinvolgente il paesaggio del vulcano, mentre la parte rimanente riporta i nomi delle piante, degli animali e delle rocce, le caratteristiche del clima e dell’ambiente. Coinvolgimento emotivo e conoscenza razionale, i due pilastri di quell’approccio romantico che spesso ci accompagna nello studio della natura.

In questa visione, un punto essenziale è il legame fra il vivente e l’inorganico. Gli esseri viventi devono molte delle loro caratteristiche all’ambiente fisico, chimico e geologico in cui vivono, e queste stesse caratteristiche sono, molto spesso, generate dall’azione degli organismi viventi. Come l’ossigeno in atmosfera, prodotto dai cianobatteri, che ha prima cambiato lo stato redox del mantello e poi stravolto gli ecosistemi e la

composizione chimica dell’atmosfera della Terra. L’acqua ricca di ossigeno, circolando nella crosta, ha poi generato una enorme diversità di minerali. Analogamente, i processi di alterazione delle rocce sono diventati più rapidi ed efficienti grazie agli organismi che hanno popolato le terre emerse. Tutto è interazione (“*Alles ist Wechselwirkung*”), scriveva von Humboldt nel 1803. Oggi, questa visione integrata è alla base delle Scienze del Sistema Terra e dello studio delle interazioni fra geosfera e biosfera.

Possiamo studiare queste interazioni ovunque, in qualunque ambiente, in qualsiasi ecosistema. Ma un luogo privilegiato per queste ricerche è certamente la “zona critica”, ovvero lo strato che sulle terre emerse va dal fondo dell’acquifero superficiale alla cima della vegetazione, dove avvengono i processi geologici, geomorfologici, chimici, fisici e biologici che permettono il funzionamento degli ecosistemi terrestri. La zona critica include il suolo, le rocce, l’acqua superficiale e di falda, gli organismi viventi, i cicli degli elementi e la parte di atmosfera in contatto con la superficie. Tutto è interazione.

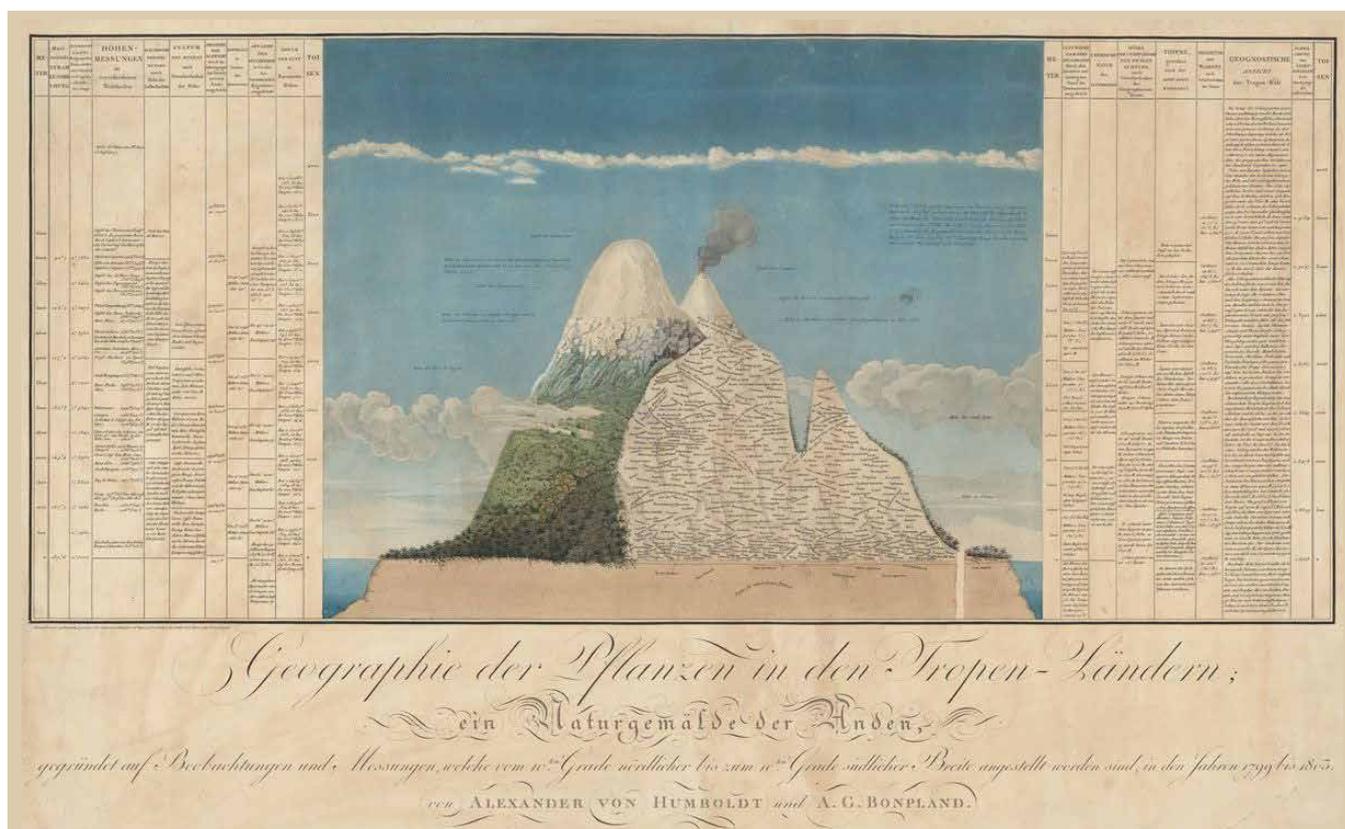


Fig. 1 - Il “disegno della natura”, la rappresentazione integrata dell’ambiente del vulcano Chimborazo in Ecuador, di Alexander von Humboldt e Aimée Bonpland.

## UN POCO DI STORIA

Il concetto di zona critica (CZ, *Critical Zone*) è stato proposto verso la fine del XX secolo da diversi ricercatori, principalmente provenienti dalle Scienze della Terra, e poi formalizzato nel 2001 in un documento del *National Research Council* statunitense (USNRC, 2001). La zona critica è un sistema composto dalla eterogenea amalgama dei paesaggi (*landscape*), degli ecosistemi e dell'ambiente sub-superficiale, inclusi gli acquiferi e la struttura litologica, che possono essere misurati, monitorati e studiati (Grant & Dietrich, 2017). Nel 2007, un intero numero di *Elements* è stato dedicato alla zona critica, definita poeticamente come “lo strato dove la roccia incontra la vita” (Brantley et al., 2007). Negli anni successivi, articoli scientifici, volumi e numeri speciali di riviste hanno esplorato i diversi aspetti della dinamica della zona critica, come, ad esempio, il volume edito da Giardino & Hauser (2015).

La componente più evidente della zona critica è naturalmente il suolo, quella porzione vivente del Sistema Terra generata dalla trasformazione delle rocce e della materia organica, che ospita e sostiene un microbiota ricchissimo. Ma la porzione più estesa della zona critica si spinge in profondità (Xu & Liu, 2017), invisibile dalla superficie e difficile da esplorare (Grant & Dietrich, 2017). Molti dei processi della zona critica sono mediati dall'acqua – sia quella presente nella zona satura e negli acquiferi superficiali non confinati (falde freatiche), sia l'acqua della zona insatura (*vadose zone*), con i complessi movimenti verticali della superficie freatica che separa queste due zone. Acqua e organismi viventi sono anche attori principali nei processi fisici e chimici di alterazione delle rocce e di formazione del suolo, e in particolare nella generazione dei micro-aggregati del suolo che ne determinano le proprietà e la funzionalità (es. Lilli et al., 2024).

Spesso, la zona critica è stata raffigurata come un “reattore chimico” (Anderson et al., 2007). Seguendo quanto scritto da questi autori, consideriamo per semplicità una colonna verticale di zona critica in un'area dove il sollevamento (tettonico) è bilanciato dall'erosione (Fig. 2). Qui, il materiale solido entra nella colonna dal limite inferiore della CZ, mentre i prodotti solidi dell'alterazione vengono erosi alla superficie e i prodotti disciolti possono lasciare la colonna grazie ai flussi di acqua. Una piccola porzione di roccia si muove verticalmente attraverso il reattore (la colonna), frammentandosi e alterandosi nel percorso, fino a raggiungere il confine fra roccia e regolite. Da questo momento, la particella inizia a muoversi in modo stocastico in risposta alle forzanti meccaniche e biomeccaniche, spostandosi per gravità verso quote inferiori nel caso di zone in pendenza, soggetta ad alterazione sia abiotica sia da parte degli organismi viventi.

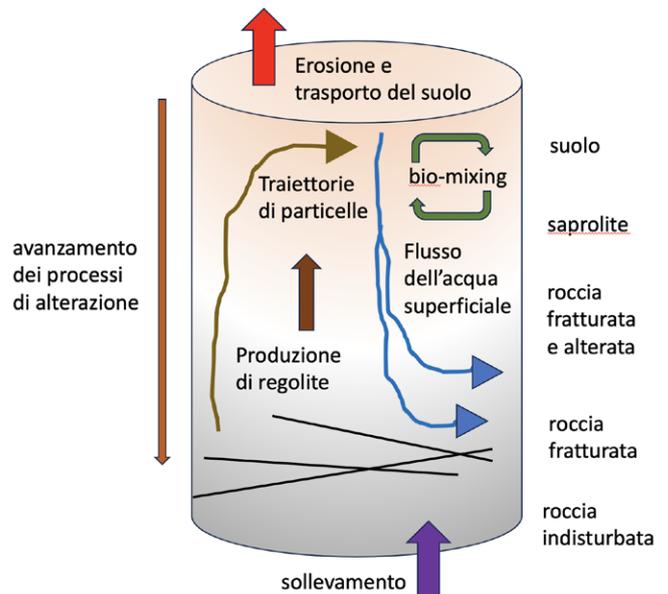


Fig. 2 - Schema semplificato dei processi di alterazione della roccia e formazione di suolo nella zona critica vista come “reattore chimico”. Per semplicità, qui viene illustrato il caso in cui sollevamento ed erosione si bilanciano, mantenendo quindi costante lo spessore dello strato di alterazione e del suolo. Ridisegnato da Anderson et al. (2007).

L'acqua, dicevamo, è un elemento cruciale nella dinamica della zona critica. Necessaria per la sopravvivenza degli organismi viventi, è il solvente polare per eccellenza che facilita i processi chimici e trasporta componenti disciolte e materiali solidi attraverso il suolo, nel sottosuolo e sulla superficie. Ecco allora l'importanza di conoscerne i movimenti, le caratteristiche, che cosa contiene e dove lo trasporta. Capire come comunicano acquiferi, zona insatura, suolo e acque superficiali. Come la precipitazione si infiltra, in quali circuiti si inserisce, quanta e quale parte viene utilizzata dalla vegetazione, assorbita dalle radici, e quale invece scende ad alimentare le falde. Qui i metodi dell'idrologia e della geochimica isotopica diventano essenziali, servono le informazioni sugli scambi di acqua fra suolo, sottosuolo, vegetazione e atmosfera e le misure fornite dalle sonde di umidità del suolo, dai piezometri e dai lisimetri, è cruciale l'analisi degli isotopi stabili per determinare origine e percorsi delle acque, è necessaria la modellistica concettuale e numerica per rappresentare la dinamica di questo fondamentale “lago sotto gli alberi”.

Per combinare tutte queste informazioni e approcci, domande e interpretazioni, dal 2018 a oggi sono state organizzate quattro scuole estive internazionali dedicate ai diversi aspetti della dinamica della zona critica, rivolte a dottorandi, ricercatori giovani e ricercatori meno giovani che volessero approfondire tematiche diverse da quelle del loro lavoro quotidiano. Tre di queste scuole (nel 2018, 2019 e 2024) sono state organizzate al Parco Nazionale Gran Paradiso, mentre la scuola del 2023 è stata organizzata dall'Università di Tsukuba in Giappone. Da queste scuole è stato pubblicato il volume *Critical Zone and Ecosystem Dynamics*, curato da Tim White e da chi scrive (White & Provenzale, 2024).



**Fig. 3** - Esempi di ambienti in cui sono attivi o in corso di installazione osservatori di zona critica gestiti da IGG CNR. Partendo dall'alto a destra in senso orario: l'osservatorio all'Etna dedicato alla misura delle interazioni fra fenomeni vulcanici e zona critica; l'osservatorio all'Altopiano del Nivolet su cambiamenti climatici e zona critica in alta montagna, in collaborazione con il Parco Nazionale Gran Paradiso; l'osservatorio nei bacini idrologici sulla collina di Spotorno per studiare le interazioni fra incendi e zona critica, gestito insieme alla Fondazione di Ricerca CIMA; l'osservatorio a Ny Alesund, alle Svalbard, dedicato allo studio dei cambiamenti climatici nella tundra artica.

## OSSERVATORI DELLA ZONA CRITICA

Vista la complessità dei processi in atto, fin dall'inizio delle attività è stata proposta la creazione di "osservatori della zona critica", ovvero aree specifiche dove misurare i parametri e gli indicatori che descrivono la dinamica di questa componente del nostro pianeta. Le aree selezionate spesso corrispondono ad un bacino idrologico, anche se ciò non è un requisito indispensabile, e la loro superficie può andare da pochi ettari a centinaia di chilometri quadrati. Negli osservatori più piccoli può venir analizzato il comportamento dei singoli alberi, i dettagli dei processi di alterazione o dei movimenti dell'acqua nel suolo, mentre negli osservatori più estesi spesso si misurano, per forza di cose, solo variabili mediate, prese come

indicatori del comportamento generale. La prima rete di osservatori della zona critica è stata organizzata negli Stati Uniti nel 2007, con un programma dedicato della *National Science Foundation* (NSF) che ha sostenuto, con 15 milioni di dollari, i primi tre osservatori. Negli anni successivi, la rete statunitense si è ampliata, sempre con il sostegno economico di NSF. La rete di "*Critical Zone Observatories*", CZO, include aree di alta montagna come Boulder Creek, in Colorado, zone aride come il Jemez River e le montagne di Santa Catalina in Arizona/Nuovo Messico oppure aree tropicali come l'osservatorio di Luquillo a Portorico, ciascuno con le sue caratteristiche e con compiti specifici riferiti all'ambiente in cui

è situato. Recentemente, questa rete si è trasformata nel "*Critical Zone Collaborative Network*", sempre sostenuto da NSF, che cerca di integrare le informazioni provenienti dai diversi osservatori per rispondere ad alcune domande generali a scala più ampia.

Nel corso degli anni, altre reti si sono aggiunte, ad esempio in Australia e in Cina. In Europa non vi è una struttura unica ma alcuni paesi sostengono reti nazionali, come OZCAR in Francia e TERENO in Germania. Oggi, l'infrastruttura di ricerca europea eLTER RI (<https://elter-ri.eu>), dedicata agli studi di lungo termine sugli ecosistemi e socio-ecosistemi, ha iniziato un'opera di armonizzazione degli osservatori, che ancora non è conclusa e in cui la

parte più strettamente geomorfologica, geologica e litologica è rappresentata solo parzialmente. Parte dei dati e dei risultati, dei metodi di analisi statistica e dei modelli numerici sviluppati per la zona critica sono raccolti in uno specifico ambiente di ricerca virtuale dell'infrastruttura europea di *e-science* LifeWatch ERIC (🌐 <https://lifewatch.eu>), la cui componente italiana è stata recentemente ampliata nell'ambito del progetto infrastrutturale PNRR "ITINERIS" (🌐 [www.itineris.cnr.it](http://www.itineris.cnr.it)). In questo contesto, a partire dal 2017

l'Istituto di Geoscienze e Georisorse del CNR ha installato e ora gestisce diversi Osservatori di zona critica, sull'Altopiano del Nivolet nel Parco Nazionale Gran Paradiso, alle Svalbard nei pressi della *Climate Change Tower* del CNR, nella zona di Piano Bello all'Etna, e sull'Isola di Pianosa dove è attiva la Base Ricerca Pianosa del CNR (🌐 [www.brp.cnr.it](http://www.brp.cnr.it)). È attualmente in corso l'estensione della rete con l'installazione di nuova strumentazione nella piana di Cimalegna, sul Monte Rosa, nell'area del Delta del Po e

in due piccoli bacini idrologici liguri sulla collina di Spotorno. In questi ambienti volutamente così diversi (l'alta montagna del Gran Paradiso e del Monte Rosa, l'Artico, le pendici di un vulcano attivo, zone semi-aride mediterranee e una zona umida costiera) vengono studiati i processi idrogeologici ed ecoidrologici, gli aspetti geomorfologici, la dinamica del suolo e, con particolare attenzione, i flussi di carbonio e acqua fra suolo, vegetazione e atmosfera (Fig. 3).

## FLUSSI DI CARBONIO E ACQUA

Il ciclo del carbonio del nostro pianeta ha due rami principali. La componente geologica è lenta e, semplificando molto, include l'emissione dell'anidride carbonica da parte dei vulcani e da varie aree e faglie attive, il trasporto dell'anidride carbonica in atmosfera, la formazione di acido carbonico nella precipitazione per reazione fra CO<sub>2</sub> e acqua meteorica, l'alterazione delle rocce (soprattutto silicatiche) da parte della precipitazione che cade al suolo e il trasporto dei prodotti di alterazione verso il mare, seguito dalla formazione di carbonati e dalla loro deposizione sulla piattaforma continentale. Da qui, il carbonio ritorna nel mantello durante la subduzione per venire poi nuovamente liberato grazie all'attività vulcanica. Questo ciclo ha scale di tempo di decine o centinaia di milioni di anni e si stima che scambi circa 0,5 miliardi di tonnellate di carbonio all'anno, regolando la variabilità del clima sul lungo periodo (ad esempio, la diminuzione di temperatura iniziata dopo il massimo termico dell'Eocene).

Contemporaneamente, è attivo il ciclo biologico del carbonio, che coinvolge gli ecosistemi terrestri e marini ed è oggi basato essenzialmente sulla fotosintesi aerobica, che rimuove l'anidride carbonica dall'atmosfera, e sui processi di respirazione (vegetali e animali) e di decomposizione, che emettono anidride carbonica (se in ambiente ricco di ossigeno) o metano (se in ambiente anossico). Il ciclo biologico è molto più veloce di quello geologico, con scale di tempo di decine o centinaia di anni, e scambia circa 200 miliardi di tonnellate di carbonio all'anno. Il ciclo geologico è lento ma coinvolge enormi serbatoi di carbonio, come il mantello terrestre, mentre il ciclo biologico si basa sempre sullo stesso carbonio, che viene scambiato velocemente fra i diversi serbatoi (suolo, atmosfera, organismi viventi), ciascuno dei quali contiene quantità di carbonio molto modeste se confrontate con quelle del mantello.

Le caratteristiche del ciclo biologico del carbonio sono cruciali per stimare l'effetto delle emissioni antropiche di gas serra. Oggi, gli ecosistemi terrestri e l'ambiente marino assorbono e stoccano nel suolo e in fondo al mare circa metà delle emissioni

antropiche di anidride carbonica. Capire quanto questi processi di assorbimento possano modificarsi in seguito all'aumento delle temperature e della concentrazione di anidride carbonica in atmosfera e ai cambiamenti nel ciclo dell'acqua è quindi fondamentale per poter determinare in modo quantitativo l'aumento delle temperature atteso nei prossimi anni, e per capire se sia possibile rafforzare la capacità di stoccaggio da parte degli ecosistemi. Per gli ambienti terrestri, è importante determinare quanto il ciclo del carbonio dipenda dai parametri ambientali, dalle caratteristiche geochemiche del suolo, dalla geomorfologia. In particolare, è essenziale determinare quanto gli ecosistemi siano vicini a punti di instabilità, in seguito ai quali potrebbero non solo ridurre la loro capacità di assorbimento ma addirittura diventare sorgenti di gas serra, come accadrebbe se si scongelasse il permafrost artico.

Negli ecosistemi terrestri, la zona critica gioca un ruolo centrale per gli scambi di carbonio e di acqua fra sottosuolo, suolo, vegetazione e atmosfera (si veda ad esempio Giamberini & Provenzale, 2024). Molti osservatori di zona critica, inclusi quelli gestiti dal CNR, dedicano particolare attenzione alla misura dei flussi di carbonio in diversi tipi di ecosistemi. La rete coordinata dall'infrastruttura europea ICOS ERIC e la rete internazionale *FluxNet* forniscono dati aggiornati e ad accesso aperto sulle misure degli scambi di carbonio. Al Parco Nazionale Gran Paradiso e all'Etna abbiamo installato strumentazioni diverse, basate sulla tecnica di *Eddy Covariance*, che usa la turbolenza atmosferica, e su camere automatiche che misurano direttamente i flussi di anidride carbonica e metano in un volume confinato (Fig. 4). In Artico sono stati installati dal CNR diversi strumenti di *Eddy Covariance* e a Pianosa sono presenti camere automatiche. A queste strumentazioni fisse si aggiungono misure con camere a flusso portatili, effettuate sia nei siti dove è installata la strumentazione fissa sia in altre aree (Fig. 5).

Focalizzando l'attenzione sugli scambi di anidride carbonica, definiamo l'assorbimento di CO<sub>2</sub> dovuto alla fotosintesi come GPP, *Gross Primary Production* (che per convenzione



**Fig. 4** - La strumentazione fissa installata all'Altopiano del Nivolet, nel Parco Nazionale Gran Paradiso. In primo piano, una coppia di camere a flusso automatiche con lo spettrofotometro e pannelli solari per la misura di flussi di vapor d'acqua e anidride carbonica. Dietro, la torre di *Eddy Covariance* con i relativi pannelli solari. Sulla sinistra, più distante, il cartello che spiega agli escursionisti il tipo di misure che sono effettuate in questo sito.

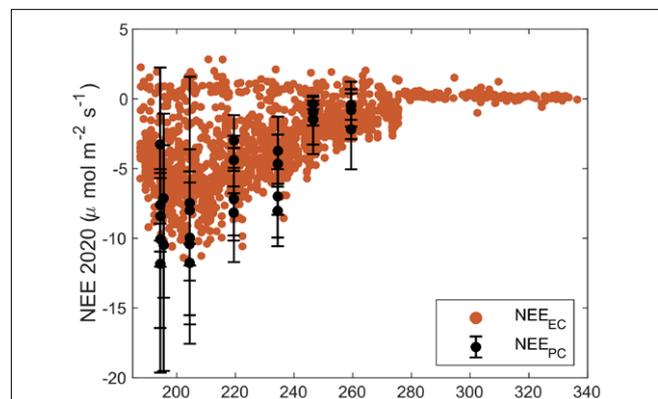
ha segno negativo) e l'emissione congiunta dovuta alla respirazione della vegetazione e alla decomposizione nel suolo come *Ecosystem Respiration*, ER, definita positiva. La somma dei due definisce il *Net Ecosystem Exchange*,  $NEE = GPP + ER$ . Nei siti dove sono presenti sia le camere a flusso sia le torri di *Eddy Covariance*, è possibile confrontare i dati ottenuti con queste due diverse tecniche di misura (Vivaldo et al., 2023; **Fig. 6**). Nel caso del Gran Paradiso, in particolare, si ottiene un buon accordo fra la misura ottenuta con la *Eddy Covariance* e la media delle misure effettuate con le camere a flusso portatili nella zona corrispondente all'area monitorata dalla *Eddy Covariance*.

Uno degli scopi di tutte queste misure è identificare i fattori ambientali, geologici, pedologici, biologici e climatici che controllano gli scambi di carbonio. Dall'analisi statistica, si derivano modelli empirici che permettono di quantificare i flussi in base alle variabili climatiche e ambientali e quindi stimare le possibili modifiche dei flussi al variare di queste condizioni. In particolare, nelle praterie alpine del Gran Paradiso le variabili più significative che determinano i flussi di carbonio sono l'intensità della radiazione solare, la temperatura e l'umidità del suolo e lo stato fenologico della vegetazione. In **Fig. 7** viene mostrato un esempio di confronto fra dati misurati e risultati del modello empirico, che indicano una buona corrispondenza fra misure e previsioni modellistiche (Magnani et al., 2020). È importante sottolineare che tutti i dati sono disponibili con accesso aperto su archivi pubblici (Parisi et al., 2024), anche nell'ambito degli ambienti di ricerca virtuale del progetto infrastrutturale PNRR ITINERIS.

Passando ai flussi di acqua, è importante ricordare che la dinamica dell'acqua nel suolo e nel sottosuolo, sia nella zona insatura sia nell'acquifero superficiale, è una componente essenziale del ciclo idrologico. In particolare, per chiudere il bilancio idrologico di una porzione di territorio e/o stimare la ricarica di un acquifero è necessario conoscere l'entità dell'evapotraspirazione, tenendo conto sia della pura evaporazione dal suolo sia della traspirazione



**Fig. 5** - Esempi di misure dei flussi di anidride carbonica e vapor d'acqua fra suolo, vegetazione e atmosfera con l'utilizzo delle camere a flusso portatili nella zona del Gran Paradiso (a sinistra) e alle Svalbard (a destra). Il contenitore a spalla giallo protegge lo spettrofotometro infrarosso (IRGA, *Infrared Gas Analyzer*).



**Fig. 6** - Confronto fra le misure di *Net Ecosystem Exchange* (NEE) fornite dalle camere portatili (cerchi e barre nere) e dalla *Eddy Covariance* (cerchi rossi), in micromoli di  $CO_2$  per metro quadro per secondo, in funzione del giorno dell'anno (1-365) nel 2020. Ciascun cerchio nero indica la media delle misure effettuate con le camere nell'area monitorata dalla *Eddy Covariance* e la barra indica l'ampiezza della distribuzione delle misure individuali.

dalla vegetazione, come illustrato schematicamente in Fig. 8 per il ciclo idrologico nel suolo (trascurando qui la dinamica dell'acquifero). La stima dell'evapotraspirazione può essere ottenuta con metodi indiretti, tramite l'uso di formule idrologiche standard, oppure con misure dirette effettuate con le torri di *Eddy Covariance* o con le camere a flusso. Anche per il ciclo dell'acqua, dunque, le misure ottenute nei vari osservatori di zona critica possono fornire un elemento importante che, combinato con le misure fornite da piezometri e lisimetri, può portare ad una caratterizzazione completa della dinamica idrologica. Le misure possono quindi venire utilizzate per calibrare e validare modelli eco-idrologici e idrogeologici sia per il suolo (ad esempio, il modello ECLand sviluppato da ECMWF, Boussetta et al., 2021) o sistemi modellistici per gli acquiferi, come il sistema MODFLOW sviluppato da USGS ([www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/modflow-and-related-programs](http://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/modflow-and-related-programs)).

## VERSO UNA VISIONE A SCALA AMPIA

Al Gran Paradiso, le misure dei flussi di carbonio e acqua sono state effettuate in diversi siti campione, caratterizzati da litologie e caratteristiche ambientali differenti. Un risultato estremamente interessante è che le differenze fra questi diversi siti sono in generale minori delle differenze che si osservano fra un anno e un altro, anche per lo stesso sito (Lenzi et al., 2023). Questo vuol dire che per una descrizione appropriata della dinamica degli scambi fra suolo, vegetazione e atmosfera è necessario mantenere un monitoraggio di lungo termine, proprio perché la variabilità interannuale deve essere rappresentata in modo completo. D'altra parte, vuol anche dire che probabilmente è possibile sviluppare una descrizione modellistica a scala spaziale ampia, che possa ben rappresentare la dinamica del carbonio e dell'acqua per la stessa tipologia di ecosistema (nel caso del Gran Paradiso, le praterie d'alta quota) in una intera

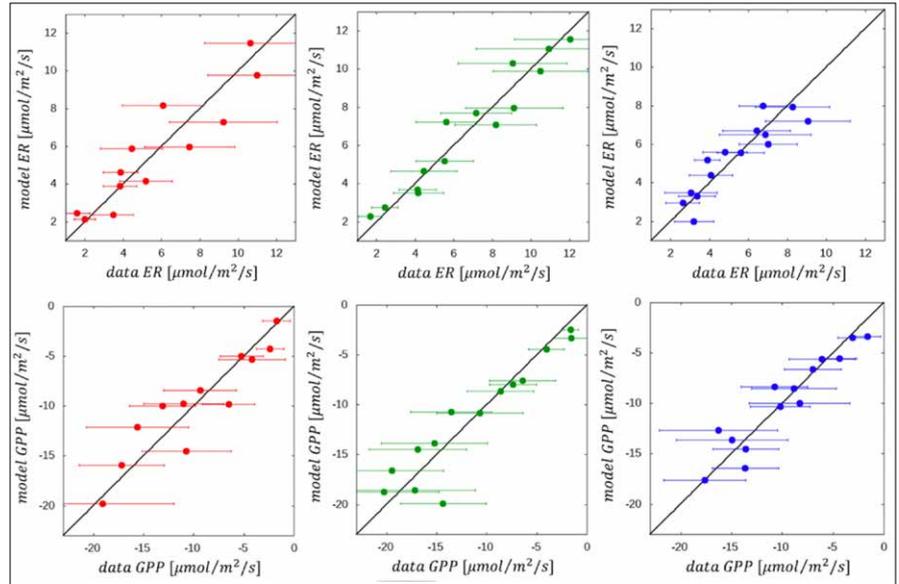


Fig. 7 - Confronto fra le misure dei flussi di anidride carbonica ottenute con le camere portatili (sulle ascisse) e i risultati del modello empirico (sulle ordinate) per la respirazione dell'ecosistema (ER, *Ecosystem Respiration*, pannelli in alto) e la produzione primaria (GPP, *Gross Primary Production*, pannelli in basso) in micromoli di CO<sub>2</sub> per metro quadro per secondo, in tre siti pilota dell'osservatorio al Nivolet, indicati dai tre colori rosso, verde e blu (da Magnani et al., 2020).



Fig. 8 - Schema semplificato del bilancio idrologico in una porzione della parte superficiale della zona critica. In azzurro gli ingressi di acqua, in giallo le uscite, in verde gli scambi di acqua con la falda freatica. Qui non sono rappresentate né la dinamica dell'acqua nel suolo né la dinamica dell'acquifero.

valle o addirittura in un insieme di valli. Un passo ulteriore sarà la sostituzione delle variabili misurate localmente con variabili ambientali stimate mediante *remote sensing*, da drone o da satellite, per permettere lo sviluppo di descrizioni generali degli scambi di energia, carbonio e acqua nella zona critica. Queste descrizioni potranno essere utilizzate per stimare la risposta della zona critica alle future condizioni climatiche (cambiamenti di temperatura, nuvolosità, precipitazione) fornite dai modelli climatici regionali, e anche per

stimare l'effetto di possibili strategie di gestione (ad esempio, l'irrigazione naturale di praterie d'alta quota in anni particolarmente siccitosi, come avvenuto nel 2022 e 2023 in alcune aree del Gran Paradiso). Tutto ciò per permettere di affrontare gli impatti dei cambiamenti climatici in modo operativo, fornendo indicazioni quantitative sulle strategie di gestione più appropriate in un determinato contesto e per uno specifico ambiente. Un tema ancora più generale riguarda lo sviluppo di modelli numerici dell'intera

zona critica, una sfida impegnativa a causa della grande quantità di processi chimici, fisici, geologici e biologici contemporaneamente all'opera e del grande intervallo di scale spaziali e temporali in gioco, dalla scala dei microaggregati nel suolo alla scala di un intero bacino idrologico (Magnani & Provenzale, 2024). Qui entra in gioco il concetto di *Digital Twin*, il “gemello digitale” di un ambiente – o addirittura dell'intero pianeta – sostenuto e sviluppato dalla Commissione Europea e dalla Agenzia Spaziale Europea con programmi di finanziamento specifici (es., <https://destination-earth.eu>). Un gemello digitale include l'acquisizione dei dati di campo in tempo reale, la disponibilità continua di osservazioni

di *remote sensing*, l'uso di metodi di assimilazione dati, la commistione di modelli deterministici per i processi che conosciamo e di modelli empirici, spesso basati su tecniche di *Machine Learning*, per i processi che sono meno compresi da un punto di vista teorico. Le zone proglaciali, liberate recentemente dal ritiro dei ghiacciai, rappresentano un ambito ideale e relativamente semplice per la costruzione di un prototipo di gemello digitale per la zona critica. Queste aree sono caratterizzate, fra le altre cose, da una forte variabilità spaziale delle condizioni di temperatura, con microclimi molto eterogenei (Marta et al., 2023). Insomma, sulla modellistica della zona critica ci sarà da lavorare ancora per un po'...

## CONCLUSIONI

In queste poche pagine abbiamo percorso alcuni dei temi legati alla dinamica della zona critica. Un termine coniato all'alba del nuovo secolo, che porta in sé ed espande la visione di von Humboldt e che ha applicazioni immediate in ambiti diversi, dall'agricoltura, ai processi di alterazione delle rocce, ai meccanismi di stoccaggio dell'anidride carbonica, alla dinamica del suolo, ai processi che regolano la ricarica degli acquiferi, all'interazione fra superficie terrestre e dinamica del clima. Il filosofo Bruno Latour ha definito lo studio della zona critica come “la scienza dell'Antropocene”, e certamente le necessità alimentari e di acqua potabile di otto miliardi di persone, la perdita di suolo fertile, l'inquinamento, la perdita di biodiversità, il possibile collasso degli ecosistemi naturali rende davvero “critico” questo strato vivente che unisce il mondo del sottosuolo e l'atmosfera.

È uno strato di forti gradienti, di flussi, di scambi di materia ed energia, su cui tutti noi, organismi terrestri, basiamo la nostra esistenza. Anche in questo senso è critico: il suo buon funzionamento è cruciale per noi e per le nostre società. Bruno Latour e Peter Weibel, nel 2020, hanno realizzato una splendida mostra e un volume dedicati alla zona critica e alle interazioni che la caratterizzano, intitolati “l'arte di atterrare sul pianeta”. In questo ambito, geologi, biologi, fisici e chimici sono tutti essenziali per affrontare un sistema così complesso, ma si devono confrontare con economisti, storici, sociologi, filosofi e artisti, per avere una visione completa e posta nel giusto contesto.

Prendendo spunto da questo, concludo con una nota più generale. Tutti noi siamo affezionati alla disciplina che

abbiamo studiato. Siamo cresciuti in uno specifico contesto, abbiamo imparato determinati metodi e idee, spesso abbiamo scelto un tema di ricerca perché ne siamo stati profondamente affascinati, e talvolta siamo sospettosi di chi si occupa degli stessi nostri argomenti con approcci diversi. Eppure... la natura, qualunque cosa voglia dire questo termine, non ha studiato. Non conosce le differenze fra le discipline, o le teorie, o i dipartimenti universitari. Ecco, è tempo di superare le barriere dei singoli saperi e, insieme a chi ha seguito un percorso diverso dal nostro e porta competenze “altre”, cercare di capire un pianeta che ha una dinamica molto più complessa di quanto possiamo sognare nella nostra filosofia.

Buona parte dei lavori descritti sono realizzati con il finanziamento dell'Unione europea – *Next Generation EU*, Missione 4, Componente 2 - CUP B53C22002150006 - Progetto IR0000032 ITINERIS - *Italian Integrated Environmental Research Infrastructures System*. Ringrazio i componenti del gruppo di “Zona Critica” dell'Istituto di Geoscienze e Georisorse del CNR, ovvero Francesca Avogadro di Valdengo, Ilaria Baneschi, Alice Baronetti, Maria Virginia Boiani, Francesca Caparrini, Maurizio Catania, Marco Doveri, Simona Gennaro, Mariasilvia Giamberini, Silvana Goiran, Sara Lenzi, Marta Magnani, Silvio Marta, Matia Menichini, Pietro Mosca, Jasmine Natalini, Angelica Parisi, Maddalena Pennisi, Francesco Porro, Brunella Raco e Gianna Vivaldo, con cui ho condiviso il lavoro di campo e di analisi dati, le idee e gli entusiasmi, e il cui impegno ha reso possibili i risultati raccontati in questo contributo.

## BIBLIOGRAFIA

Anderson S.P., Blanckenburg F. von & White A.F. (2007). *Physical and Chemical Controls on the Critical Zone*. *Elements*, 3, 315-319.

Boussetta S. et al. (2021). *ECLand: The ECMWF Land Surface Modelling System*. *Atmosphere*, 12, 723. <https://doi.org/10.3390/atmos12060723>

Brantley S.L., White T.S. & Ragnarsdottir K.V., curatori (2007). *The Critical Zone: Where Rock Meets Life*. *Elements*, 3, 5.

Giamberini M.S. & Provenzale A. (2024). *Land Surface-Atmosphere CO2 Fluxes in the Critical Zone*. In "Critical Zone and Ecosystem Dynamics", curatori T.S. White e A. Provenzale, Springer.

Giardino R. & Hauser C. (2015). *Principles and Dynamics of the Critical Zone*. Elsevier.

Grant G. & Dietrich W. (2017). *The frontier beneath our feet*. *Water Resources Research Commentary*, 53. <https://doi.org/10.1002/2017WR020835>

von Humboldt A. (1803/1804). *Tagebücher der Amerikanischen Reise OX: Varia Obs. Astron. De Mexico a Guanajuato* (Alexander von Humboldt's diary of his American Journey).

Latour B. & Weibel P. (2020). *Critical Zones. The Science and Politics of Landing on Earth*. MIT Press.

Lenzi S. et al. (2023). *Spatial and temporal variability of carbon dioxide fluxes in the Alpine Critical Zone: The case of the Nivolet Plain, Gran Paradiso National Park, Italy*. *PLoS ONE* 18(5): e0286268. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286268>

Lilli M.A., Stamati F.E. & Nikolaidis N.P. (2024). *The role of soil aggregation in the Critical Zone*. In "Critical Zone and Ecosystem Dynamics", curatori T.S. White e A. Provenzale, Springer.

Magnani M., Baneschi L., Giamberini M.S., Mosca, P., Raco B. & Provenzale A. (2020). *Drivers of carbon fluxes in Alpine tundra: A comparison of three empirical model approaches*. *Science of the Total Environment*, 732, 139139.

Magnani M. & Provenzale A. (2024). *Models, Digital Twins and Virtual Research Environments*. In "Critical Zone and Ecosystem Dynamics", curatori T.S. White e A. Provenzale, Springer.

Marta S. et al. (2023). *Heterogeneous changes of soil microclimate in high mountains and glacier forelands*. *Nature Communications*, 14, 5306. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41063-6>

Parisi A. et al. (2024). *Carbon dioxide fluxes in Alpine grasslands at the Nivolet Plain, Gran Paradiso National Park, Italy 2017-2023*. *Scientific Data*, 11, 652. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-03374-1>

USNRC (2001). *Basic Research Opportunities in the Earth Sciences*. U.S. National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., pp. 35-38.

Vivaldo G. et al. (2023). *Carbon dioxide exchanges in an alpine tundra ecosystem (Gran Paradiso National Park, Italy): A comparison of results from different measurement and modelling approaches*. *Atmospheric Environment*, 305, 119758.

Xu X. & Liu W. (2017). *The global distribution of Earth's critical zone and its controlling factors*. *Geophys. Res. Lett.*, 44. <https://doi.org/10.1002/2017GL072760>

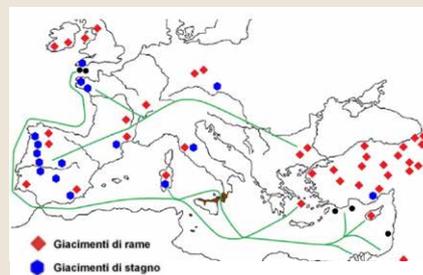
White T.S. & Provenzale A., curatori (2024). *Critical Zone and Ecosystem Dynamics*. Springer.

## SPUNTI PER LA DIDATTICA

Susanna Occhipinti

L'articolo fornisce moltissimi spunti per la didattica: il ciclo del carbonio, geologico e biologico, le relazioni tra acqua atmosfera e substrato... mettendo in evidenza, a partire dal titolo, che tutto è interazione.

Il concetto di "zona critica", l'interfaccia dove avvengono le interazioni più intense tra geosfera e biosfera, "dove la roccia incontra la vita", rappresenta un paradigma, un modello di riferimento di come tutte le sfere, e tutti i sistemi, siano strettamente interconnessi, collegati tra loro da flussi, cicli, infinite relazioni di causa effetto. Sono concetti generalmente chiari - ma non sempre condivisi dai docenti - e di conseguenza difficilmente recepiti dagli studenti; a questo si aggiunge la divisione che il sistema scolastico impone alle cattedre, che produce rigidità e sbarramenti tra le discipline, in cui si utilizzano termini, definizioni e a volte leggi diverse per descrivere concetti analoghi, determinando una sorta di gerarchia interna, che ritroviamo nelle iscrizioni alle facoltà universitarie.



La **fascia dello stagno**, che si estende dalla Cornovaglia alla Boemia, caratterizzata da depositi idrotermali legati a intrusioni granitiche, è stata cruciale per lo sviluppo dell'età del Bronzo in Europa. La distribuzione geologica dei giacimenti di stagno ha determinato le prime rotte commerciali e ha stimolato lo sviluppo della navigazione per il trasporto del minerale. I principali centri minerari (Cornovaglia, Erzgebirge, Bretagna) sono diventati poli di innovazione tecnologica, sviluppando tecniche estrattive e metallurgiche sempre più avanzate, portando alla formazione di comunità minerarie specializzate e allo sviluppo di reti commerciali a lunga distanza. Il controllo di queste risorse ha influenzato gli equilibri di potere e ha stimolato lo sviluppo di tecnologie: la distribuzione geologica delle risorse minerarie ha plasmato l'economia ma anche l'intera struttura sociale delle prime civiltà europee.

Il mondo delle geoscienze, termine da usare assolutamente al plurale, è consapevole che tutto "è interazione", che nei sistemi naturali tutto è interconnesso, che la complessità di questi sistemi spesso discende proprio dalla geoscienze, fondamentali per comprendere questi processi e le innumerevoli relazioni che fanno delle geoscienze un *hub* di una rete, che lega la maggior parte dei fenomeni naturali, una spirale (termine che uso proprio in affinità con il DNA) da cui si origina la maggior parte degli eventi naturali, storici, sociali, economici. Forse non ci crediamo nemmeno noi geologi: proviamo a dimostrarlo con alcuni spunti per la didattica, molti noti, altri forse meno, che solo lo spazio redazionale limita.

Per approfondire:

[www.youtube.com/@eons](https://www.youtube.com/@eons)

[www.bgs.ac.uk/discovering-geology](https://www.bgs.ac.uk/discovering-geology)

[www.bbc.co.uk/programmes/b00qclqz](https://www.bbc.co.uk/programmes/b00qclqz)



I **Sumeri** rappresentano un caso emblematico di come la geologia abbia determinato lo sviluppo di una civiltà antica. La loro società si sviluppò nella Mesopotamia, nella pianura alluvionale del Tigri e dell'Eufrate, un territorio estremamente fertile, grazie ai sedimenti ricchi di minerali trasportati dai fiumi dalle montagne dell'Anatolia e dell'altipiano iranico. L'assenza di risorse minerarie locali nella pianura mesopotamica spinse i Sumeri a sviluppare sistemi di commercio con le regioni circostanti, da dove importavano rame e stagno, che a sua volta portò allo sviluppo di sistemi di registrazione delle merci e della scrittura cuneiforme. Il contesto geologico influenzò anche l'architettura: l'assenza di pietra e l'abbondanza di argilla portò allo sviluppo di tecniche costruttive basate sui mattoni di argilla e alla nascita delle *ziggurat*.



L'**ambra del Baltico** rappresenta un esempio di come un materiale abbia influenzato lo sviluppo di reti commerciali e culturali nell'Europa antica. Questa resina fossile, formatasi durante il Terziario da foreste di conifere, si trova principalmente nei depositi della costa meridionale del Mar Baltico. Le condizioni geologiche hanno favorito la formazione dell'ambra e il suo trasporto attraverso sistemi fluviali che l'hanno ridistribuita lungo le coste baltiche. La presenza di questi depositi ha portato alla creazione della "Via dell'Ambra", che collegava il Mar Baltico al Mediterraneo, attraversando l'Europa centrale. Questo sistema di scambi ha stimolato lo sviluppo di comunità e centri artigianali specializzati nella raccolta e lavorazione dell'ambra. Le rotte commerciali dell'ambra hanno facilitato lo scambio di merci ma anche la diffusione di innovazioni tecnologiche e culturali tra le popolazioni del nord e del sud Europa, contribuendo significativamente allo sviluppo delle civiltà europee dal Neolitico all'età del Bronzo.



I **giacimenti di sale** hanno giocato un ruolo fondamentale nello sviluppo delle società preistoriche europee, con alcuni centri principali che hanno determinato la geografia del potere e del commercio. Tra questi, Hallstatt in Austria rappresenta forse il caso più emblematico: un'intera epoca (cultura di Hallstatt, prima età del Ferro) prende il nome da questo sito. Le miniere di sale hanno portato allo sviluppo di tecniche minerarie sotterranee complesse già nell'età del Bronzo. Anche a Wieliczka in Polonia e Cardona in Spagna, altri importanti giacimenti salini hanno influenzato lo sviluppo locale. Il controllo di queste risorse ha portato alla nascita di élite sociali potenti, come dimostra la ricchezza dei corredi funerari trovati vicino a questi siti. Inoltre, essendo il sale essenziale per la conservazione degli alimenti, questi centri sono diventati nodi cruciali di reti commerciali a lunga distanza, favorendo scambi non solo di merci ma anche di tecnologie e idee tra diverse culture europee dell'età del Bronzo e del Ferro.



La **civiltà egizia** rappresenta un perfetto esempio di come i fattori geologici abbiano determinato lo sviluppo di una grande civiltà antica, di come un "meccanismo geologico" abbia permesso di sviluppare un sistema agricolo altamente produttivo, che, misurando le piene e organizzando la loro società intorno al ciclo naturale del fiume, contribuendo a plasmare una delle più grandi civiltà antiche. Il sistema si basava sulle esondazioni periodiche del Nilo, alimentate dalle precipitazioni stagionali sugli altipiani etiopici (Blue Nilo)

che portava materiali di origine vulcanica dall'Etiopia, e dal Sud Sudan (White Nilo) con sedimenti argillosi derivanti dall'erosione dei suoli tropicali e materiali organici derivanti dalle zone paludose, che contribuivano alla formazione del limo e che durante le piene stagionali venivano depositati nelle pianure alluvionali, creando un sistema naturale di fertilizzazione del suolo.



La fertilità dei **suoli vulcanici** rappresenta un esempio significativo di come la geologia vulcanica abbia determinato lo sviluppo di insediamenti umani nonostante i rischi evidenti. Questi suoli sono caratterizzati da una composizione minerale ricca in elementi essenziali per l'agricoltura come potassio, fosforo e magnesio, oltre a numerosi microelementi. Gli strati di ceneri depositati dalle eruzioni hanno creato suoli stratificati di eccezionale fertilità, che hanno sostenuto colture specializzate, come la vite nell'area vesuviana, sviluppando un'agricoltura intensiva fin dall'epoca romana, con una densità di popolazione elevatissima nonostante la minaccia costante del vulcano e nell'area etnea, dove le popolazioni hanno sviluppato particolari tecniche agricole, creando un paesaggio terrazzato unico con produzioni di pregio come il pistacchio di Bronte.



I **cenotes** rappresentano un caso esemplare di come una particolare formazione geologica abbia determinato lo sviluppo di una civiltà antica. La penisola dello Yucatan, dove fiorì la civiltà Maya, è caratterizzata da un substrato calcareo altamente poroso che impedisce la formazione di fiumi superficiali. In questo contesto, i cenotes - pozzi naturali formati dal collasso di cavità carsiche sotterranee - erano le uniche fonti affidabili di acqua dolce in quanto davano accesso alla falda acquifera. La civiltà Maya è profondamente influenzata da queste particolari formazioni geologiche: le città principali si sono sviluppate attorno ai cenotes, che non solo fornivano acqua per il sostentamento quotidiano e l'agricoltura, ma acquisirono anche un profondo significato religioso: erano considerati portali verso il mondo sotterraneo e luoghi sacri per rituali e offerte. Il controllo dell'accesso all'acqua attraverso i cenotes ha contribuito alla stratificazione sociale e all'organizzazione politica dei Maya, dimostrando come la geologia abbia plasmato non solo gli aspetti pratici ma anche quelli culturali e religiosi di questa civiltà.



Isotope ratio MS

# La nuova dimensione nell'analisi isotopica

## Orbitrap Exploris Isotope Solutions

Scopri il nuovo Thermo Scientific™ Orbitrap™ MS, un approccio integrato all'IRMS con tecnologia a ionizzazione elettrospray (ESI) che dà accesso a un'ampia gamma di informazioni isotopiche da composti polari in campioni liquidi.

Il Thermo Scientific™ Orbitrap Exploris™ Isotope Solutions per la misura dei rapporti delle abbondanze isotopiche apre la strada verso

dimensioni nuove nell'estrapolazione di informazioni isotopiche molecolari in settori come la geologia, l'ecologia, le ricerche metaboliche e la medicina legale.

Esplora il flusso di lavoro innovativo che converte le intensità degli isotopologi in rapporti isotopici accurati!

Scopri di più su [thermofisher.com/orbitrap-for-isotopes](https://thermofisher.com/orbitrap-for-isotopes)  
Oppure contattaci: [isotopeanalysis-italy@thermofisher.com](mailto:isotopeanalysis-italy@thermofisher.com)



# Associazione Italiana PER LO STUDIO DEL QUATERNARIO

a cura di Eleonora Regattieri

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

**AIQUA:**  
*Storie quaternarie  
e territori in evoluzione*

**Perugia, 26-27 Maggio 2025**

**A**IQUA è lieta di invitarvi a Perugia (**Fig. 1**) al convegno annuale, un'occasione unica per far incontrare ricercatori, studiosi e appassionati del Quaternario. Quest'anno il tema del convegno sarà "Storie quaternarie e territori in evoluzione".

L'evento si propone come un punto di riferimento per conoscere le più recenti scoperte e progetti dedicati al Quaternario, con un'attenzione speciale agli studi innovativi e al lavoro dei giovani ricercatori. Durante il convegno si svolgerà l'assemblea annuale dei soci.

Nel corso del convegno saranno presentate comunicazioni orali di 15 minuti, dedicate a una vasta gamma di temi, come l'evoluzione del clima e degli ecosistemi quaternari, le trasformazioni dei territori e la cartografia tematica, la tettonica recente e le dinamiche del suolo e gli argomenti di maggiore interesse e rilevanza che

riguardano il Quaternario, dalla scala locale a quella globale. Alle migliori presentazioni orali e poster di giovani ricercatori verrà assegnato il premio AIQUA.

Il comitato organizzatore, Giulia Margaritelli, Enrico Capezzuoli, Marco Cherin, Laura Melelli e Francesco Mirabella ha anche organizzato un'esperienza oltre il convegno.

Il 27 Maggio, infatti, si svolgerà un'escursione gratuita alla scoperta della suggestiva zona del Monte Cetona (SI) (**Fig. 2**) e sarà possibile visitare il meraviglioso Museo Paleontologico di Pietrafitta (PG) (**Fig. 3**), che AIQUA ringrazia per il supporto organizzativo. Non perdetevi questa occasione per condividere idee, scoprire nuove prospettive di ricerca e immergervi nei paesaggi del Quaternario!



Fig. 1



Fig. 2

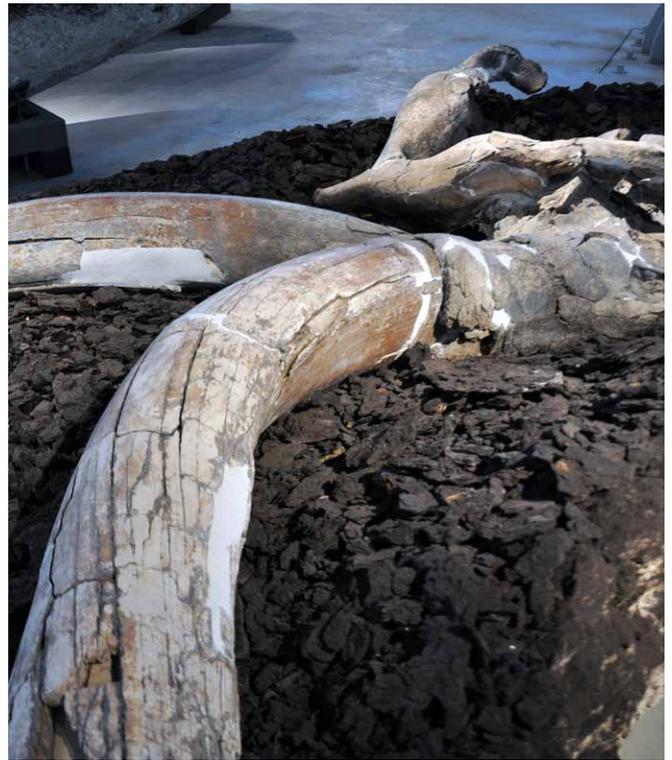


Fig. 3

**Informazioni utili:**

I dettagli per l'iscrizione e la partecipazione sono disponibili nella prima circolare del convegno, distribuita ai soci in Febbraio. Per ulteriori informazioni o proposte vi invitiamo a contattare il comitato organizzatore.

## RIVISTA *Alpine and Mediterranean Quaternary*

La rivista *AIQUA Alpine and Mediterranean Quaternary* continua a crescere, grazie alla sua indicizzazione in Scopus e al suo *Gold Open Access*. I recenti *cite scores* (2.4 nel 2022 e 3.1 per il 2023) confermano il suo crescente impatto. AIQUA invita calorosamente a contribuire attivamente con nuovi lavori e ricerche per arricchire ulteriormente la rivista. Ricordiamo la possibilità di proporre ed editare volumi speciali. I due fascicoli del 2024 di *Alpine and Mediterranean Quaternary* sono già disponibili *online* (Fig. 4) e contengono lavori originali e di alta qualità:

<https://amq.aiqua.it/index.php/amq>



Fig. 4



# Società GEOCHIMICA Italiana

👤 a cura di Orlando Vaselli

🌐 [www.societageochimica.it](http://www.societageochimica.it)

Care Lettrici e cari Lettori, vorrei iniziare questa breve nota del nuovo anno con due importanti e significativi risultati raggiunti da due nostre colleghe. Elisa Sacchi (Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente dell'Università di Pavia) sarà per i prossimi due anni la Presidente della *International Association of Geochemistry* ([www.iagc-society.org](http://www.iagc-society.org)) e, al contempo, è stata nominata come *Co-Editor in Chief* di *Applied Geochemistry* ([www.sciencedirect.com/journal/applied-geochemistry](http://www.sciencedirect.com/journal/applied-geochemistry)) che rappresenta una delle riviste più importanti nel panorama geochimico internazionale. La seconda collega è Antonella Buccianti (Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze) che è stata rinnovata per altri quattro anni (2025-2028) come rappresentante della Commissione Tecnica Ministeriale di Valutazione dell'Impatto Ambientale occupandosi di concessioni minerarie, di idrocarburi, di stoccaggio geologico, di geotermia e di *decommissioning* degli impianti nucleari. Questo le ha permesso di verificare il ruolo e l'importanza della geologia nella valutazione ambientale nonché quello preminente della geochimica. Viene da domandarsi il perché della diminuzione generale degli iscritti ai Corsi di Laurea in Scienze Geologiche quando, invece, le opportunità di lavoro e di riconoscimenti importanti nell'ambito delle Scienze della Terra sembrano più che promettenti. A parte quest'ultima considerazione, vorrei esprimere, come presidente della So.Ge.I., le mie più vive congratulazioni ad Elisa ed Antonella. A proposito di riconoscimenti, vorrei ringraziare Giulio Armando Ottonello (ex-professore ordinario di Geochimica e Vulcanologia presso il Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita dell'Università di Genova nonché Socio Corrispondente per la Classe di Scienze Fisiche Matematiche e Naturali, Categoria IV – Geoscienze, A: Geologia, Paleontologia e applicazioni) per la pubblicazione di un prestigioso libro dal titolo *Quantum Geochemistry* (Springer Nature: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-21837-8#overview>) che lo ha visto

impegnato per numerosi anni di ricerca e di studio per presentare i metodi di *Quantum Chemistry* applicati a vari campi delle geoscienze. È un secondo fondamentale contributo alla Geochimica dopo il suo libro *Principles of Geochemistry*.

Si stanno delineando le attività della So.Ge.I. per questo 2025. Come prima cosa mi preme ricordare la *International Vulcano Summer School* dal titolo: “*In situ measurements and sampling of volcanic gases*” che si terrà all'Isola di Vulcano dal 9 al 14 Giugno 2025. Questa *Summer School* ha visto il crescente interesse di studenti magistrali, dottorandi, post-doc e giovani ricercatori, tant'è che, dalla prima edizione (2018) a quella dello scorso anno, il numero di partecipanti è cresciuto sensibilmente, raggiungendo le 100 unità. La partecipazione è totalmente gratuita. Gli interessati devono esclusivamente pagarsi viaggio, vitto ed alloggio. Ulteriori informazioni sono disponibili alla seguente pagina web: [www.societageochimica.it/vulcano-summer-school-2025](http://www.societageochimica.it/vulcano-summer-school-2025), le iscrizioni chiudono il 1 Marzo 2025, oppure scrivendo a [vulcanosummerschool@gmail.com](mailto:vulcanosummerschool@gmail.com). Al comitato scientifico ed organizzatore: Rebecca Biagi (DST - UniFi), Sergio Calabrese (DiSTeM - UniPa), Lorenza Li Vigni (DiSTeM - UniPa), Guendalina Pecoraino (INGV), Antonio Randazzo (INGV), Franco Tassi (DST - UniFi), Francesco Tripodi (DiSTeM - UniPa), Stefania Venturi (DST - UniFi), va il più sentito ringraziamento da parte della comunità geochimica per adoperarsi costantemente alla riuscita di questa scuola.

Dal 7 all'8 Settembre 2025 presso il Museo Minerario di Abbadia San Salvatore (Siena), sono previste due giornate di studio dedicate al mercurio (come elemento), avente come titolo: Il mercurio da elemento “ricercato” a elemento “bandito”, alle quali parteciperanno studiosi italiani e stranieri con una visita guidata presso le ex-strutture minerarie che sono attualmente in via di messa in sicurezza. Entro la fine di Febbraio saranno resi noti i relatori e il programma delle due giornate che saranno visibili presso la *web-page* della So.Ge.I. ([www.societageochimica.it](http://www.societageochimica.it)).

# International Vulcano Summer School on "in situ measurements and sampling of volcanic gases".

Isola di Vulcano, 9-14 Giugno 2025



Ultima, ma non meno importante, è la 5<sup>a</sup> Scuola CAMGEO (Campionamento ed analisi di matrici geologiche) che si terrà dal 1-4 Luglio 2025 presso il Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse (Via Vicinale Cupa Cintia, 21, 80126 Napoli). Il *focus* di questa edizione sarà la Caratterizzazione geochimica di siti contaminati e la gestione del rischio. Siamo attualmente in fase di preparazione del programma definitivo che sarà presumibilmente reso noto alla fine del mese di Febbraio.

Per chi fosse interessato ad approfondire le attività della Società Geochimica Italiana può scaricare gratuitamente le *newsletter* che vengono pubblicate a livello quadrimestrale ([www.societageochimica.it/newsletter](http://www.societageochimica.it/newsletter)).

Infine, augurandovi una buona lettura, vi ricordo che gli aggiornamenti di tutte le iniziative sono riportati sui social So.Ge.I.:

<https://twitter.com/SocietaGe>

[www.facebook.com/Società-Geochemica-Italiana-105767361597947](https://www.facebook.com/Società-Geochemica-Italiana-105767361597947)

[https://instagram.com/societageochimica\\_it](https://instagram.com/societageochimica_it)

<https://it.linkedin.com/company/societageochimicaitaliana>



# Associazione Italiana DI GEOGRAFIA FISICA E GEOMORFOLOGIA

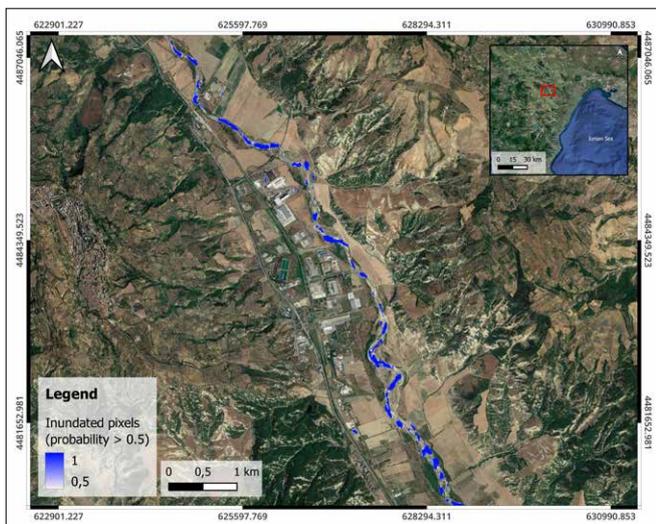
• a cura di Domenico Capolongo, Giovanni Scicchitano, Marco Luppichini e Rosa Colacicco

• [www.aigeo.it](http://www.aigeo.it)

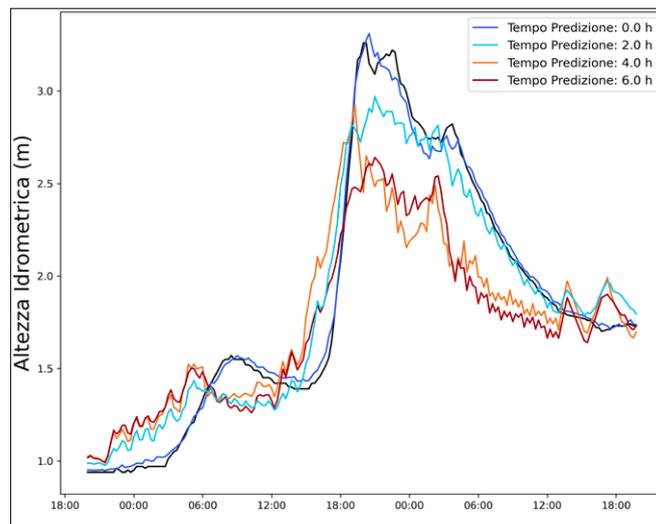
## IL GRUPPO DI LAVORO GEOMORPHAI: *osservazione della Terra e intelligenza artificiale a supporto dell'analisi geomorfologica*

**N**egli ultimi anni, la convergenza tra tecnologie di Osservazione della Terra (OT) e Intelligenza Artificiale (IA) ha offerto opportunità senza precedenti nel campo della ricerca geomorfologica. Questo approccio multidisciplinare permette di affrontare in maniera innovativa le sfide legate alla comprensione dei processi geomorfologici, al monitoraggio del territorio e alla mitigazione dei rischi naturali. Con l'obiettivo di sfruttare queste nuove potenzialità e opportunità, è stato istituito il Gruppo di Lavoro GeomorphAI nell'ambito dell'Associazione Italiana di Geografia Fisica e Geomorfologia (AIGeo). Il gruppo mira a promuovere lo sviluppo e l'applicazione di metodologie avanzate che integrano dati OT e IA, offrendo una piattaforma collaborativa per ricercatori, istituzioni e *stakeholder*. Lo sviluppo delle tecnologie spaziali e della *space economy* nel prossimo futuro vedrà un ruolo di primo piano dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) e dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), con particolare attenzione al progetto "Iride", il più grande programma europeo di osservazione della Terra tramite una costellazione di satelliti. Iride, finanziato nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) e sviluppato in collaborazione con ESA e ASI, rappresenta un passo cruciale verso una gestione più efficiente delle risorse naturali e la protezione ambientale. L'integrazione tra pubblico e privato, favorita da ESA e ASI, accelererà la creazione di nuove opportunità economiche e occupazionali, consolidando l'Europa come *leader* nell'esplorazione spaziale sostenibile e nello sviluppo di soluzioni tecnologiche avanzate per il nostro pianeta. Particolare importanza è data al cosiddetto *downstream*, ovvero l'insieme delle applicazioni e dei servizi basati sui dati spaziali raccolti dai satelliti. La creazione del Gruppo di Lavoro GeomorphAI nasce dall'esigenza di affrontare questi cambiamenti epocali e sicuramente rilevanti nel campo della geomorfologia. Una delle principali motivazioni è rappresentata dalla necessità di migliorare il monitoraggio dei processi geomorfologici attraverso l'utilizzo di sensori satellitari, LiDAR e droni, che permettono di raccogliere dati ad alta risoluzione spaziale e temporale su vasta scala. Questo consente di analizzare i cambiamenti delle forme del terreno

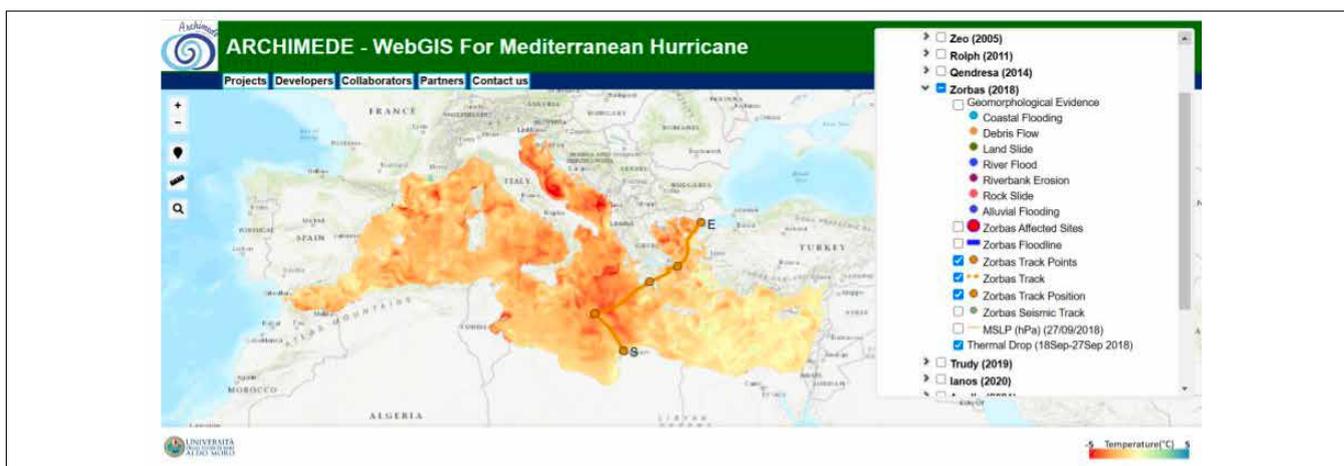
e di monitorare processi dinamici con un livello di precisione spaziale e temporale mai raggiunto in precedenza. Un ulteriore stimolo è costituito dall'avvento dei *Big Data*. L'enorme quantità di dati generati dai sistemi di OT richiede tecniche avanzate di Intelligenza Artificiale per l'analisi e l'interpretazione. Gli algoritmi di *machine learning* possono estrarre automaticamente caratteristiche geomorfologiche rilevanti e individuare cambiamenti minimi, riducendo il carico di lavoro manuale e aumentando l'efficienza delle analisi. La costruzione di modelli predittivi è un ulteriore elemento chiave. Grazie all'integrazione tra OT e IA, è possibile simulare i futuri cambiamenti geomorfologici e valutare l'incidenza dei rischi naturali. Infine, l'integrazione di dati provenienti da diverse fonti, quali immagini ottiche, *radar* e iperspettrali, rappresenta una grande opportunità per ottenere una visione multidimensionale dei processi geomorfologici e delle loro interazioni. Il principale obiettivo del Gruppo di Lavoro GeomorphAI è promuovere l'innovazione metodologica nel campo della ricerca geomorfologica, sviluppando approcci integrati che combinino OT e IA con l'analisi geomorfologica classica. Il gruppo intende promuovere attività di formazione e divulgazione, con l'obiettivo di diffondere l'uso di tecnologie avanzate tra ricercatori, studenti e professionisti del settore. L'offerta di corsi, *workshop* e programmi di formazione rappresenta un pilastro fondamentale delle attività del gruppo. Gli sforzi del gruppo sono anche orientati verso applicazioni pratiche, utilizzando i risultati della ricerca per affrontare problematiche ambientali, climatiche e di gestione del territorio. L'interazione con *policy-maker* e agenzie ambientali è una parte essenziale per trasferire le conoscenze scientifiche in strategie operative e di gestione sostenibile del territorio. Un ulteriore obiettivo è lo sviluppo di algoritmi e strumenti *software* basati su IA per l'analisi di dati OT. Durante il primo anno di lavoro, le attività del GdL sono state concentrate nell'organizzazione di un *Workshop* intitolato "Geomorfologia 4.0: L'Impatto di Telerilevamento e Intelligenza Artificiale sull'Analisi Territoriale", che si è tenuto nei giorni 6 e 7 Giugno 2024 presso l'università degli studi di Bari e ha visto la partecipazione di molti dei soci



**Fig. 1** - Rappresentazione di un tratto del fiume Basento (MT), durante l'evento alluvionale del Marzo 2016, ottenuta tramite misurazioni *radar* (SAR), che mostra la massima confidenza nella presenza di acqua di piena.

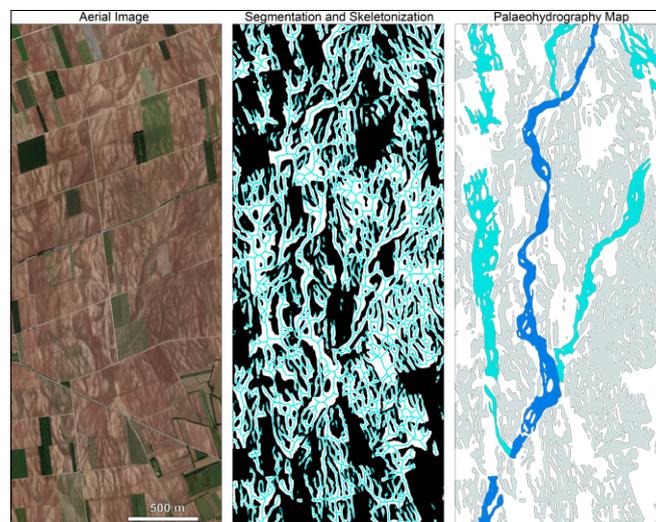


**Fig. 2** - Evento verificatosi sul Fiume Versilia (Toscana Nord-Ovest) tra l'1 e il 2 Febbraio 2019: la curva nera rappresenta i dati misurati, mentre le curve colorate mostrano le simulazioni dei modelli di intelligenza artificiale con tempi di previsione fino a 6 ore di anticipo.



**Fig. 3** - *Thermal Drop* durante il Medicanic Zorbas (2018), visualizzazione dalla piattaforma pubblica WebGis [www.archimedemedicane.it](http://www.archimedemedicane.it).

aderenti al GdL. Sono stati presentati alcuni studi recenti come ad es. Colacicco et al. (2024), Luppichini e Bini (2024), Scicchitano e Scardino (2024) e Vanzani et al. (in stampa) che hanno dimostrato l'efficacia dell'integrazione OT e IA per affrontare rischi geomorfologici in aree fluviali, urbane e costiere. Colacicco et al. (Fig. 1) hanno sviluppato un sistema semi-automatizzato basato su immagini *radar* SAR per analizzare le inondazioni fluviali, testato con successo nella pianura di Metaponto. Luppichini et al. (Fig. 2) hanno creato un modello IA per prevedere inondazioni improvvise fino a sei ore di anticipo, offrendo margini temporali cruciali per la mitigazione. Scicchitano e Scardino (Fig. 3) hanno individuato un fenomeno precursore, il "thermal drop", migliorando la previsione di inondazioni costiere causate dai Medicanes, mentre Vanzani et al. (Fig. 4) hanno utilizzato tecniche di *deep learning* per la ricostruzione della paleoidrografia legata a sistemi *braided*. Tutti i lavori presentati hanno evidenziato come OT, IA a supporto delle analisi geomorfologiche tradizionali possano fornire contributi significativi per l'avanzamento delle conoscenze.



**Fig. 4** - Implementazione di un modello di *deep learning* per il riconoscimento automatico da immagine aerea di tracce paleo-idrografiche di sistemi "braided".

# Società PALEONTOLOGICA Italiana

• a cura di Annalisa Ferretti

🌐 [www.paleoitalia.it](http://www.paleoitalia.it)

## Il tuo fossile regionale a portata di click

### UNA MOSTRA VIRTUALE PER LA VALORIZZAZIONE E LA DIVULGAZIONE DELL'INIZIATIVA FOSSILI REGIONALI

Nell'ambito della divulgazione e valorizzazione del patrimonio paleontologico italiano l'iniziativa Fossili Regionali, promossa dalla Società Paleontologica Italiana (SPI), è stata certamente una delle più rilevanti dell'intero panorama nazionale. L'obiettivo principale è stato quello di presentare i reperti e il patrimonio paleontologico nazionale sotto una rinnovata luce culturale, che ne sottolineasse il legame con il territorio e le persone che lo abitano.

Dopo la preselezione di una serie di fossili candidati da parte di esperti che hanno composto i comitati regionali, si sono aperte le votazioni online, in cui specialisti e appassionati di tutta Italia hanno scelto il fossile simbolo di ciascuna regione. I vincitori del concorso sono stati proclamati in occasione della XXIII Edizione delle Giornate di Paleontologia nel Giugno 2023 a Lecce; a ogni comitato regionale è stata inoltre consegnata una targhetta da apporre a fianco di ciascuno dei 20 reperti nel luogo di esposizione. Per chi è esperto della materia, è innegabile che i fossili abbiano un'importanza fondamentale: in quanto resti di organismi, essi ci offrono informazioni preziose sulle interazioni biologiche e sugli ambienti del passato, ci raccontano l'andamento della biodiversità nel tempo in funzione delle crisi biotiche e delle successive radiazioni adattative, oltre a fornirci indicazioni importanti sulla risposta degli ecosistemi attuali alle pressioni antropiche e ai cambiamenti climatici (Scarponi et al., 2023; Fitzgerald et al., 2024). Oltre al valore scientifico, però, i fossili possono fungere da "collante" sociale, aumentando il senso di appartenenza e identità di una comunità. I fossili iconici rappresentano un legame tangibile con il passato del territorio nel quale sono stati ritrovati: in Italia, ad esempio, la scoperta di uno scheletro di balena o di un dinosauro produce un grande coinvolgimento e supporto della popolazione che abita la zona di ritrovamento (Coen, 2023).

Questo è un dato particolarmente rilevante per poter accrescere la cultura scientifica dei cittadini e, più in generale, per alimentare l'interesse per le discipline paleontologiche e geologiche: proprio in Italia, ad esempio, sono presenti siti a conservazione eccezionale (*Lagerstätten*) come il giacimento fossilifero del Monte Bolca



Fig. 1 - Immagine di copertina della mostra virtuale.

(Verona), che permette, grazie alla sua ricchezza di specie, di acquisire informazioni preziose sugli ecosistemi marini del passato (Friedman & Carnevale, 2018), ma che, allo stesso tempo, rappresenta un luogo profondamente legato alla storia del territorio e dei suoi abitanti (Cerato, 2011).

I siti e i reperti paleontologici, assieme ai musei e le aree a rilevante interesse fossilifero, vanno quindi valorizzati attraverso la creazione di percorsi didattici e iniziative di divulgazione che sfruttino anche le tecnologie digitali e che tendano a promuovere una cultura del rispetto atta a garantirne la loro conservazione per le future generazioni.

Il progetto Fossili Regionali si inserisce proprio all'interno di questo contesto divulgativo di valorizzazione culturale: conclusasi la prima parte dell'iniziativa dedicata alla votazione e premiazione, su suggerimento del Consiglio di Presidenza della SPI è ora in fase di completamento l'esposizione virtuale dei Fossili Regionali prescelti (Fig. 1). Il progetto vedrà la creazione di un sito web sviluppato da Alessio Baglioni, laureando in Didattica e Comunicazione delle Scienze Naturali presso l'Università di Bologna, in collaborazione con Daniele Scarponi (Professore di Paleontologia e Paleoecologia dell'Alma Mater Studiorum) e il PaiP (*Palaeontologists in Progress*), gruppo che raccoglie i soci giovani e non strutturati della SPI. Il lavoro sarà portato avanti con l'idea di sfruttare e sviluppare un collegamento tra spazi



**Fig. 2** - Mappa interattiva dell'Italia, su ciascuna regione è riportata la sagoma del fossile simbolo.

fisici e digitali, creando così un compendio online che si inserisca all'interno di quelle che sono le tematiche attuali delle innovazioni riguardanti la museologia virtuale, proprio grazie all'utilizzo di strumenti e linguaggi legati alla multimedialità e alla connettività tra enti del territorio nazionale.

All'interno del sito *web* i vari fossili vincitori saranno presentati tramite una mappa interattiva che incuriosisca i visitatori e che li stimoli a esplorare ciascuna regione (Fig. 2), assieme al racconto della storia dell'iniziativa. A ciascun reperto protagonista è inoltre dedicata una pagina con una sua descrizione dettagliata, accompagnata da immagini, video e ricostruzioni sia 3D che paleoartistiche. Oltre a ciò, ciascun fossile è inserito nella scala del tempo geologico di riferimento con l'indicazione del luogo di ritrovamento e di esposizione. Il tutto ottenuto attraverso l'autorizzazione, la condivisione e la collaborazione di musei, soprintendenze, singoli esperti e artisti a cui va la nostra gratitudine.

L'accesso alla pagina del sito, con le informazioni e l'iconografia di ogni fossile vincitore, sarà possibile anche attraverso il *QR code* presente sulla targhetta esposta nei luoghi di conservazione (Fig. 3); ciò consentirà al visitatore del museo fisico di accedere alle informazioni presenti sul sito e, allo stesso tempo, permetterà all'utente virtuale di venire a conoscenza dei luoghi di esposizione di ogni fossile, creando di fatto un collegamento non soltanto tra i musei e la mostra, ma tra i musei stessi. Il progetto sarà fruibile al pubblico a Giugno 2025.

La SPI e tutti gli attori coinvolti nel progetto credono che l'iniziativa possa incrementare la visibilità del patrimonio paleontologico italiano, che riveste un'importanza fondamentale per la nostra società, arricchendo la nostra cultura, educando le nuove generazioni e contribuendo alla ricerca scientifica. La sua preservazione e valorizzazione sono quindi essenziali non solo per mantenere viva la memoria del nostro passato geologico e



**Fig. 3** - Fossile regionale della Sicilia e la targhetta con *QR code*: Thea, vissuta ~14750 anni fa, rappresenta la più antica testimonianza della presenza di *Homo sapiens* in Sicilia. Foto di Giovanni Surdi.

paleontologico, ma anche per affrontare le future sfide che ci attendono. D'altronde, i resti fossili sono anche testimoni di catastrofi del passato e di come gli organismi ne siano usciti, informazioni che possono essere utili in questo periodo di "turbolenza climatica".

a cura di Alessio Baglioni, PaiP e Daniele Scarponi

## Bibliografia:

Cerato M. (2011). *Cerato. I pescatori del tempo*. Grafica Alpone, San Giovanni Ilarione, 180 pp.

Coen E. (2023). *La battaglia di un paese del Beneventano per riavere il suo dinosauro "Ciro"*. L'Espresso. <https://lespresso.it/c/idee/2023/10/25/la-battaglia-di-un-paese-del-beneventano-per-riavere-il-suo-dinosauro-ciro/46290>

Friedman M., & Carnevale G. (2018). *The Bolca Lagerstätten: shallow marine life in the Eocene*. Journal of the Geological Society, 175, 569-579.

Fitzgerald E., Ryan D., Scarponi D., & Huntley J.W. (2024). *A sea of change: Tracing parasitic dynamics through the past millennia in the northern Adriatic, Italy*. Geology, 52, 610-614.

Scarponi D., Rojas A., Nawrot R., Cheli A., & Kowalewski M. (2023). *Assessing biotic response to anthropogenic forcing using mollusc assemblages from the Po-Adriatic System (Italy)*. Geological Society, London, Special Publications, 529, 293-310.



# Associazione Nazionale INSEGNANTI SCIENZE NATURALI

• a cura di Susanna Occhipinti

🌐 [www.anisn.it/nuovosito](http://www.anisn.it/nuovosito)

**A**NISN, l'Associazione Nazionale Insegnanti di Scienze Naturali, ha voluto, su proposta dei presidenti delle 18 sezioni regionali e delle sottosezioni, invitare gli insegnanti di scienze dei tre ordini di scuola a compilare un questionario, redatto da colleghi della disciplina, sui loro lavori come insegnanti di scienze. L'indagine è stata un'occasione per coinvolgere i soci e farli più partecipi all'associazione e alle sue scelte, ma anche ai non soci attraverso i dipartimenti di scienze delle varie scuole, cercando di coinvolgere nuovi docenti per discutere con loro del come e del cosa si insegna. Sappiamo infatti che il lavoro del docente è molto cambiato negli anni e abbiamo cercato di avere un quadro nazionale aggiornato, di conoscere il lavoro attuale dei docenti di scienze, raccogliere i bisogni per individuare scelte di indirizzo dell'associazione, le priorità nella formazione, sia nei contenuti che nelle modalità, cogliere le criticità dell'insegnamento delle scienze oggi e portarne i risultati nelle sedi di confronto istituzionale: i risultati dell'indagine infatti saranno raccolti in un *report* da diffondere sia all'interno dell'associazione che all'esterno verso il ministero, i media e le altre associazioni della scuola. Il questionario è ancora disponibile e chiunque voglia contribuire con le sue risposte ai *link* è benvenuto.

## Sondaggio sul lavoro dei docenti

### Scuola PRIMARIA

🌐 [https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdBjegSt\\_9ni\\_2EFBfjSGfiTZ1eOU\\_h5zceOIfMkk9TzX-WfQ/viewform?usp=sharing](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdBjegSt_9ni_2EFBfjSGfiTZ1eOU_h5zceOIfMkk9TzX-WfQ/viewform?usp=sharing)

### Scuola SECONDARIA DI 1<sup>^</sup>

🌐 [https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSe-YorubSMski9\\_ne0KLM2twzDS7RDUHxSJMux7579gkTOKw/viewform?usp=sharing](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSe-YorubSMski9_ne0KLM2twzDS7RDUHxSJMux7579gkTOKw/viewform?usp=sharing)

### Scuola SECONDARIA DI 2<sup>^</sup>

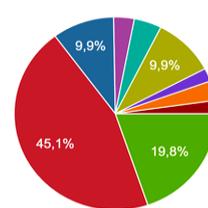
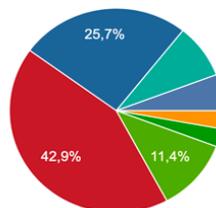
🌐 [https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfAANldxDZDcX2Cw2n0xSxrt9f5KblC7DWf-5NrG21jqKYfCg/viewform?usp=share\\_link](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfAANldxDZDcX2Cw2n0xSxrt9f5KblC7DWf-5NrG21jqKYfCg/viewform?usp=share_link)

Ci è sembrato interessante condividere, anche su Geologicamente, qualche considerazione su alcuni dei risultati, che si basano su circa 200 risposte nei tre ordini di scuola, con una prevalenza nelle secondarie di secondo grado dove ANISN è più presente, un numero certamente piccolo, ma con risposte provenienti da tutto il territorio nazionale. L'analisi del titolo di studio ci ha dato una conferma: nelle scuole italiane tra gli insegnanti di scienze

prevalgono i laureati in scienze biologiche, che costituiscono, sia nelle secondarie di 1<sup>^</sup> che di 2<sup>^</sup> circa la metà dei docenti; i laureati in scienze geologiche costituiscono sorprendentemente un quarto dei docenti alle secondarie di 1<sup>^</sup> ma solo il 10% nelle secondarie di 2<sup>^</sup>. In verde chiaro i laureati in scienze naturali, che sono una componente importante, ma, come vedremo in seguito, non sufficiente a equilibrare le discipline insegnate (**Fig. 1**).

Secondaria di 1<sup>^</sup>

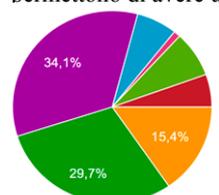
Secondaria di 2<sup>^</sup>



● Lauree del gruppo scienze biologiche ● Lauree del gruppo chimica e chimica...  
 ● Lauree del gruppo scienze geologiche ● Lauree del gruppo scienze forestali  
 ● Lauree del gruppo scienze ambientali ● Lauree del gruppo scienze e tecnolog...  
 ● Lauree del gruppo biotecnologico ● Lauree del gruppo scienze farmacia e...

Fig. 1

La maggior parte delle risposte provengono da insegnanti dei licei, Scientifico e Scienze applicate, ma anche da Istituti tecnici e linguistici dove, la presenza dell'insegnamento delle scienze è come è noto, purtroppo meno rilevante (**Fig. 2**), molti dei quali iscritti all'ANISN, ma, come la diffusione a livello nazionale delle risposte, così la presenza di molte provenienti da non iscritti ci permettono di avere un quadro più completo ed oggettivo (**Fig. 3**).



● istituto comprensivo ● liceo classico  
 ● istituto professionale ● liceo psicopedagogico  
 ● istituto tecnico ● liceo linguistico  
 ● liceo scientifico ● Altro  
 ● liceo scientifico opzione scienze applicate

Fig. 2

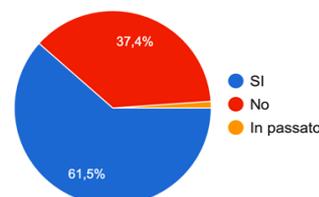


Fig. 3

Come tutti gli insegnanti, anche quelli di discipline scientifiche segnalano un carico di lavoro rilevante, che esula dalla attività di docenza, attività istituzionali e carichi aggiuntivi (Fig. 4).

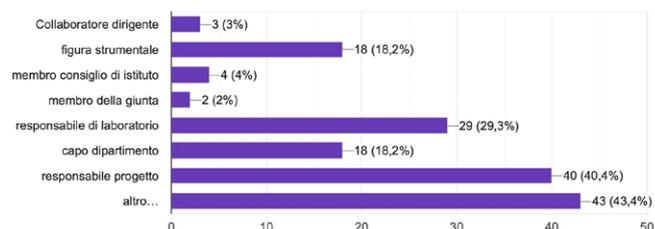


Fig. 4

Ma gli insegnanti di scienze in particolare dichiarano:

- ▶ un elevato numero di classi in cui sono titolari; circa il 60% dei docenti che hanno risposto dichiarano di avere almeno 6 classi;
- ▶ un carico di lavoro settimanale eccedente le 18 ore, a scuola, per le secondarie, (somma ore di preparazione attività di laboratorio e uscite, progettazione e svolgimento di attività extracurricolari) spesso molto rilevante;
- ▶ e ancora di più, fino a superare le 10-20 ore settimanali quello a casa (preparazione lezioni, preparazione e correzione compiti, preparazione attività di laboratorio, attività di aggiornamento e formazione *on-line*) (Fig. 5).

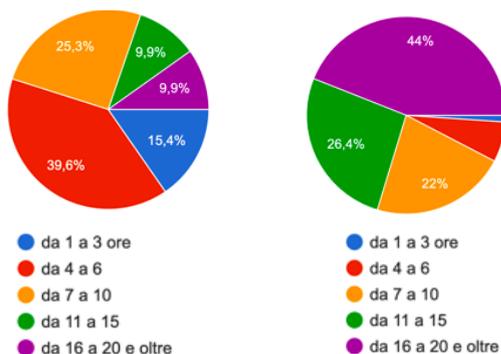


Fig. 5

Interessante è l'analisi sull'uso del libro di testo:

- ▶ l'82% dichiara di non seguire in maniera rigorosa il libro di testo,
- ▶ il 64,8% predispone un curriculum indipendentemente dal libro di testo.

Queste considerazioni mettono seriamente in discussione i libri di testo di scienze attualmente disponibili ed in adozione, spesso estremamente ricchi di contenuti, approfondimenti, espansioni, anche *on-line*, ma non sempre altrettanto stimolanti, o in grado di promuovere competenze, di fornire legami pluridisciplinari e con la realtà, anche attraverso esempi di prove – più o meno autentiche - di realtà.

Un quadro migliore è quello dei laboratori scientifici:

- ▶ nelle scuole secondarie di 1<sup>a</sup> i tre quarti hanno un laboratorio o un'aula dedicata ad esperimenti,
- ▶ il 95% degli insegnanti delle secondarie di 2<sup>a</sup> dichiara di avere un laboratorio.

Interessanti, però, e purtroppo frequenti, commenti del tipo:

*“Purtroppo, essendo incentrati sulla digitalizzazione, i fondi PNRR non hanno permesso l'acquisto di materiali come reagenti e materiale consumabile di vetreria e strumentazioni”*. Questo aspetto, unito alle problematiche della sicurezza ed alla mancanza di figure di supporto, fa sì che i laboratori vengano utilizzati dalle classi mediamente una volta al mese, così come sembrano scarse le possibilità di effettuare in un anno escursioni ed attività naturalistiche sul terreno.

Numerose domande riguardano ovviamente, l'articolazione dei contenuti proposti, per disciplina e per anno (Fig. 6).

Scienze della Terra (colonna rossa) compare in tutte le classi del quinquennio, ed anche con una elevata incidenza, ovviamente dopo la chimica generale ed inorganica, le scienze della vita e le biotecnologie. I docenti hanno dichiarato in prevalenza di trattare, con una incidenza media, gli argomenti: forme e dinamiche del paesaggio, sistema oceano, atmosfera, cambiamento climatico e dissesto idrogeologico, giacitura e deformazione delle rocce, orogenesi, attività vulcanica e sismica, tettonica globale, impatto dell'attività antropica. Un quadro che sembra scontrarsi con la diffusa percezione che le Scienze della Terra vengano insegnate poco e male, o comunque non diano una formazione nelle geoscienze che inviti gli studenti ad approfondirle, a studiarle e a farne la loro professione.

I docenti, molti dei quali dichiarano di aver svolto nell'ultimo anno più di 35 ore di formazione, nelle domande conclusive chiedono formazione, esperti, supporto, anche nelle Scienze della Terra, ma dalle risposte del questionario e dal confronto con la realtà, appare necessario ripensare l'approccio didattico attraverso metodologie più coinvolgenti che trasmettano la passione per questa disciplina così cruciale per il nostro territorio.

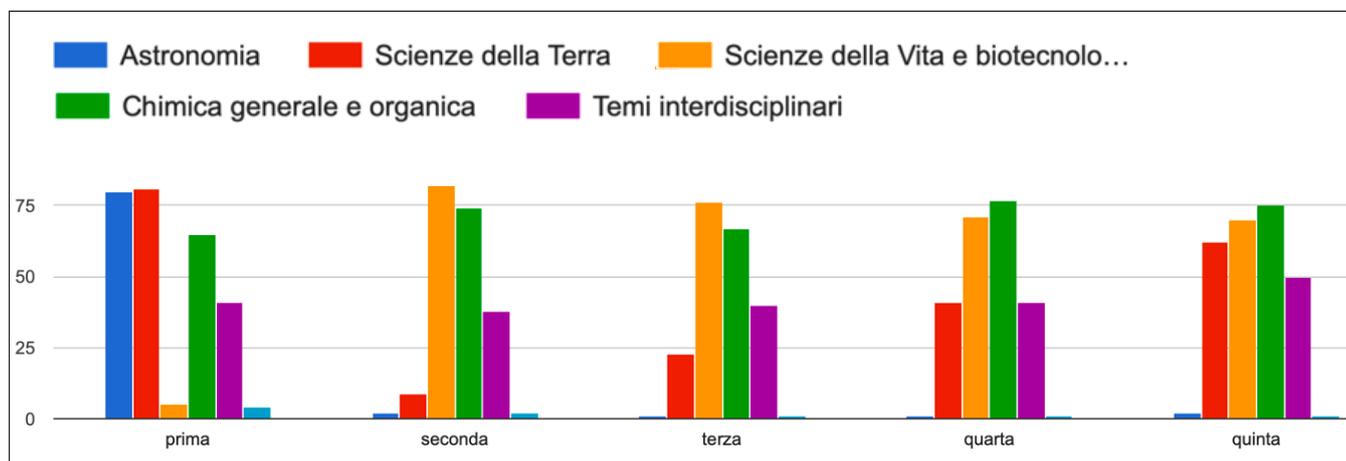


Fig. 6 - Distribuzione delle discipline per anno. Scuola secondaria di 2<sup>a</sup>.

# Associazione Italiana DI VULCANOLOGIA

📍 a cura del Consiglio Direttivo AIV

🌐 [www.aivulc.it/it](http://www.aivulc.it/it)

Il 2025 è da poco iniziato ed è nuovamente tempo di programmazione delle nostre attività. Come sempre, tra le prerogative principali dell'AIV vi è la formazione. Ed è per tale ragione che per il 2025 stiamo mettendo in campo una serie di iniziative finalizzate ad offrire molteplici opportunità ai nostri giovani vulcanologi. Al riguardo, a valle della recente assemblea annuale dei soci AIV, che si è tenuta il 21 Febbraio u.s. presso l'Aula Lucchesi del Dipartimento di Scienze della Terra a Roma La Sapienza, sono state confermate due scuole estive che si svolgeranno entrambe alle Isole Eolie.

Il primo appuntamento è previsto nei giorni 8-16 Giugno 2025 con l'*International School of Volcanology* dedicata a dottorandi, *post-doc* e giovani ricercatori dal tema "*Working on active volcanoes: learning the tools of modern Volcanology - field observations, data acquisition, reporting and response*". Come per le precedenti edizioni, la scuola è organizzata dall'Université Clermont Auvergne e dall'Associazione Italiana di Vulcanologia, in collaborazione con l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e il Laboratorio

di Geofisica Sperimentale dell'Università di Firenze, oltre ad altri *partners* nazionali e stranieri che coadiuveranno alla logistica e alle lezioni teoriche e pratiche. Nella prima metà di Settembre 2025 è prevista anche la Scuola di Vulcanologia "Bruno Capaccioni", appuntamento rivolto a studenti triennali e magistrali, che ha lo scopo di fornire le basi della conoscenza dei sistemi vulcanici e dei processi eruttivi, con particolare attenzione allo studio delle morfologie e dei depositi vulcanici sul terreno.

L'AIV patrocinerà inoltre due eventi di formazione avanzata per dottorandi, *post-doc* e giovani ricercatori, organizzati nell'ambito di progetti PRIN finanziati dal MUR con fondi PNRR:

📍 *Workshop/Field-trip on deposit-derived PDCs* (Giugno 2025), con presentazioni presso l'Osservatorio Vesuviano dell'INGV a Napoli e un'escursione sul Vesuvio, dedicato alla dinamica delle correnti piroclastiche derivate da depositi (Progetto PRIN PNRR "*Causes and Consequences of Deposit-derived Pyroclastic Density Currents*").

📍 *Joint Workshop/School on experimental and numerical modelling of gravity currents* (Settembre 2025), articolato in due fasi: lezioni frontali a Bari e attività sperimentali presso il laboratorio CamiLab dell'Università della Calabria, per approfondire la modellizzazione di correnti gravitative (Progetto PRIN PNRR "*Improving the Modeling Capabilities of Geophysical Granular Flows*").

Siamo all'inizio dell'anno, il che ci porta a ricordare a voi tutti l'importanza del sostegno all'AIV, in primis attraverso il pagamento delle quote di iscrizione o rinnovo dell'associatura. Seguiteci sempre sui nostri *social networks* e sul sito *web* al link 🌐 [www.aivulc.it](http://www.aivulc.it) per rimanere sempre aggiornati su quanto viene pubblicato dalla comunità vulcanologica italiana (tramite il rilascio mensile degli aggiornamenti al database delle pubblicazioni scientifiche PubAIV) e sulle *news* di approfondimento riguardanti i vulcani attivi del nostro Pianeta.

## Premio Tesi AIV 2024

Anche nel 2024, l'Associazione Italiana di Vulcanologia (AIV) ha assegnato i premi per le migliori tesi su tematiche legate alla Vulcanologia, rivolti a laureati magistrali e dottori di ricerca che hanno discusso la loro tesi tra agosto 2023 e luglio 2024.

Il Premio Tesi di Laurea AIV 2024 "Bruno Capaccioni" è stato conferito *ex-aequo* alla Dott.ssa Serena Da Mommio (Università di Pisa, relatore Prof. M. Pistolesi) e al Dott. Fausto Lupica Spagnolo (Università di Firenze, relatore Prof. R. Cioni). La commissione, composta dai Soci AIV Diego Coppola (Università di Torino), Roberto Moretti (Università della Campania) e Mario Gaeta (Sapienza Università di Roma), ha valutato cinque candidature

sulla base dell'originalità della ricerca, dell'innovazione scientifica e metodologica, delle applicazioni dei risultati e del voto di laurea. Ai vincitori è stata assegnata una borsa di studio di €250 ciascuno.

Il Premio Tesi di Dottorato AIV 2024 è stato attribuito dalla stessa commissione al Dott. Francesco Maria Lo Forte per la sua ricerca "*A fluid and melt inclusion study of Fogo volcano, Cape Verde archipelago*" (Università degli Studi di Palermo, Tutor: Prof. A. Aiuppa, *Co-Tutors*: Proff. S. G. Rotolo e V. Zanon). Anche in questo caso, la valutazione ha considerato originalità, innovazione, applicazioni, curriculum e pubblicazioni. Il premio prevede una borsa di studio di €1000.

## Premio Tesi di Laurea AIV 2024 "Bruno Capaccioni"



### Serena Da Mommio

Serena Da Mommio, nata a Lucca, ha conseguito nel 2023 la laurea magistrale in Scienze e Tecnologie Geologiche presso l'Università di Pisa, discutendo una tesi dal titolo "Caratterizzazione tessiturale e composizionale delle ceneri vulcaniche

dell'eruzione del vulcano Tajogaite (La Palma, Isole Canarie): implicazioni sui meccanismi di frammentazione e sulla dinamica eruttiva". L'obiettivo del lavoro è stato quello di comprendere i processi che si sono verificati durante l'ascesa pre-eruttiva del magma e all'interno del sistema di condotti al fine di ottenere una ricostruzione della dinamica eruttiva. Durante un tirocinio complementare alla tesi, Serena ha inoltre condotto analisi di lisciviazione sui precipitati di cenere al fine di valutare il potenziale impatto ambientale legato al rilascio di elementi tossici e potenzialmente tossici nell'ambiente.

Dopo la laurea, ha ottenuto una borsa di dottorato in Geoscienze e Ambiente presso l'Università di Pisa. Attualmente, la sua ricerca si focalizza sull'analisi di *tephra* e *cryptotephra*, indentificati in carote marine e utilizzati come livelli *marker* per studi di tefrocronologia. Questo approccio multidisciplinare combina analisi litologiche, sedimentologiche e composizionali, con l'obiettivo di ricostruire la cronologia dell'attività vulcanica di Stromboli e di indagare i potenziali eventi di collasso tsunamigenici che si sono verificati sull'isola nel corso dei millenni.



### Fausto Lupica Spagnolo

Fausto Lupica Spagnolo nato a Mistretta (ME), dopo aver conseguito la maturità scientifica, ha iniziato il suo percorso accademico laureandosi in Scienze Geologiche presso l'Università degli Studi di Palermo. Successivamente ha proseguito gli studi presso l'Università degli

Studi di Firenze, dove ha ottenuto la laurea magistrale in Scienze e Tecnologie Geologiche con specializzazione in Vulcanologia. Attualmente ricopre la posizione di geologo presso Eni, nell'ambito della geologia applicata all'ambiente.

Durante il percorso magistrale ha svolto un internship presso l'ISTO-CNRS di Orléans, che ha portato alla stesura della tesi dal titolo "Survival of melt inclusions in minerals under variable pre- and syn-eruptive conditions: an experimental petrology study". Il suo lavoro si è concentrato sull'utilizzo di metodi di petrologia sperimentale per simulare i processi di mixing tra un magma basico e un sistema a composizione più evoluta, col fine di studiare le modifiche morfo-tessiturali e chimiche che interessano le inclusioni vetrose presenti in fenocristalli provenienti da alcune grandi eruzioni del Vesuvio. Questo studio ha contribuito alla comprensione ed alla definizione delle condizioni naturali per le quali avvengono tali processi.

## Premio Tesi di Dottorato AIV 2024



### Francesco Maria Lo Forte

Francesco Maria Lo Forte, nato a Palermo l'8 settembre 1996, ha conseguito la laurea triennale nel 2018 e la laurea magistrale nel 2020 presso l'Università degli Studi di Palermo, entrambe con la votazione di 110 e lode. I suoi lavori di tesi hanno riguardato

argomenti di mineralogia e gemmologia: "Applicazione dei minerali argillosi in ambito farmaceutico" (laurea triennale) e "Caratterizzazione dell'Ambra del Simeto" (laurea magistrale). Nel 2020 ha iniziato il dottorato di ricerca presso l'Università degli Studi di Palermo, sotto la supervisione del *tutor*, il Professore Alessandro Aiuppa, con una tesi in geochimica e vulcanologia (GEO-08) dal titolo "A fluid and melt inclusion study of Fogo volcano, Cape Verde archipelago", dedicata allo studio del recente magmatismo del vulcano Fogo, situato nell'omonima isola dell'arcipelago di Capo Verde. La ricerca ha approfondito diversi aspetti del sistema di alimentazione magmatico, tra cui la caratterizzazione delle zone di stoccaggio del magma e la loro evoluzione spaziale e temporale, lo studio delle principali specie volatili disciolte nel magma (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, S, Cl, F) e la caratterizzazione della sorgente mantellica attraverso l'analisi degli isotopi dei gas nobili (He, Ar, Ne) e del carbonio ( $\delta^{13}\text{C}$ ). Questi studi sono stati condotti mediante l'analisi di inclusioni fluide (*fluid inclusions*) e silicatiche (*melt inclusions*), rinvenute in cristalli di olivina e pirosseni presenti nei prodotti magmatici mafici, che spaziano dalle eruzioni più antiche (circa 120.000 anni fa) a quella più recente (2014-2015).

Durante il suo percorso di dottorato, Francesco ha collaborato con prestigiose università e istituti di ricerca internazionali, tra cui l'Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos (IVAR) presso l'Università delle Azzorre (Portogallo), dove ha studiato le inclusioni fluide, e il Laboratoire Magmas et Volcans presso l'Università di Clermont Auvergne di Clermont-Ferrand (Francia), dove ha analizzato le inclusioni silicatiche. Attualmente, è titolare di un assegno di ricerca presso l'Università degli Studi di Palermo. I suoi principali interessi di ricerca riguardano: (i) il contenuto di volatili disciolti nel magma, (ii) l'architettura dei sistemi magmatici e (iii) la geodinamica del mantello terrestre, con particolare attenzione agli isotopi dei gas nobili e del carbonio.

# Associazione PALEONTOLOGICA PALEOARTISTICA Italiana

👤 a cura di Anna Giamborino

🌐 [www.paleoappi.it](http://www.paleoappi.it)

## A MORE ANCIENT GARDEN

### Premio Italiano di Paleoarte

Per il quarto anno consecutivo, l'Accademia Valdarnese del Poggio e il Museo paleontologico di Montevarchi, in collaborazione con APPI Associazione Paleontologica Paleoartistica Italiana, lo scorso ottobre hanno presentato il Premio Italiano di Paleoarte.

Il Premio Italiano di Paleoarte è una competizione artistica il cui scopo è diffondere la conoscenza della Paleoarte quale raffigurazione della Vita Preistorica. Il Premio vuole essere anche occasione di incontro tra i vari professionisti, confrontare le varie tecniche adoperate durante le fasi di lavoro e le tematiche proposte. Rispetto alle edizioni precedenti, la novità per il 2024 è stata l'introduzione della categoria Progetti.

In questa nuova categoria rientrano tutte le creazioni che hanno lo scopo di divulgare il *Tempo Profondo* e la *Storia della Vita* sul nostro Pianeta, ma che non rientrano nel settore delle immagini classiche: sono quindi presi in considerazione giochi, attività educative, *workshop*, *storytelling*, video, animazioni, ecc. I progetti, selezionati dalla giuria, sono stati presentati tramite *poster* ed esposti in occasione della mostra dedicata al premio.

Per questa speciale categoria, l'edizione del 2024 ha visto premiato il progetto *A More Ancient Garden*, di R. Rocchi, V. Fabrizio Brugnola e A. Piombini.

Era il 1956 quando il quindicenne Roger Mason, esplorando con due amici una cava della foresta di Charnwood non lontano da Leicester (Inghilterra), si imbatté in una peculiare impronta fossile dalla forma frondosa. Mason, appassionato di geologia, subito comprese l'importanza della sua scoperta: le rocce di Charnwood sono molto antiche, precedenti al Cambriano, da cui provenivano i fossili dei più antichi organismi complessi conosciuti al tempo. L'età straordinaria del fossile fu poi confermata dal geologo Trevor Ford, che nel 1958 lo nominò come *Charnia masoni*, in onore del giovane scopritore (Sandal, 2019).

La scoperta di Charnwood aprì ad una serie di descrizioni e reinterpretazioni di fossili dalle forme singolari, provenienti da antiche rocce di tutto il mondo. Una delle più abbondanti e fra le prime associazioni di fossili precambriani ad essere studiate è sicuramente quella ritrovata sulle colline di Ediacara, in Australia meridionale. È proprio con riferimento a quest'ultima località che si parla di "biota di Ediacara" per indicare la varietà di organismi



Fig. 1 - Alcune delle peculiari specie del biota di Ediacara.

che popolavano i mari fra circa 635 e 541 milioni di anni fa (Knoll et al., 2006).

I fossili ediacarani testimoniano la presenza di molte specie diverse di organismi pluricellulari, difficili da comparare con quelli moderni, già ben prima della grande radiazione del Cambriano. C'è stato un acceso dibattito sull'interpretazione di questi reperti, che da alcuni studiosi sono stati identificati come strutture sedimentarie inorganiche, oppure colonie di organismi unicellulari, ma anche alghe e piante, o addirittura come parte di un regno completamente estinto di esseri viventi pluricellulari (Seilacher, 1992). Attualmente, sempre più prove spingono a classificare almeno la maggior parte di questi fossili come veri e propri animali (Bobrovskiy et al., 2018), seppur dalle curiose fattezze: organismi dal corpo molle, alcuni appiattiti come il *Dickinsonia*, altri dalle forme frondose come *Charnia* stesso, oppure dall'aspetto bizzarro e stile di vita misterioso come *Kimberella* o *Parvancorina* (Fig. 1). Nonostante il fascino e la discreta popolarità raggiunta dai fossili dell'Ediacarano, pochi sono stati finora i tentativi di rappresentare



Fig. 2 - Parte dell'ambiente virtuale, in cui si possono scorgere varie delle specie rappresentate.



Fig. 3 - La presentazione del progetto all'APPI Day.

ed animare in 3D gli ambienti in cui questi peculiari organismi sono vissuti. È così quindi che nasce l'idea per *A More Ancient Garden*, un progetto che mira a ricostruire con la realtà virtuale l'ecosistema di 555 milioni di anni fa testimoniato dal famoso giacimento delle colline di Ediacara.

Premiato come Miglior Progetto nell'ambito della IV edizione del Premio Italiano di Paleoarte, tenutosi presso il Museo Paleontologico di Montevarchi il 12 Ottobre 2024, *A More Ancient Garden* vuole essere uno strumento divulgativo che punti a coinvolgere gli utenti tramite un ambiente virtuale immersivo, permettendogli di scoprire il biota di Ediacara attraverso alcune note introduttive e una serie di grafiche informative inserite per ogni organismo. Nella ricostruzione appaiono 8 diverse specie tipiche delle colline di Ediacara, animate in modo da muoversi attorno allo spettatore come se fossero in vita, sul fondale di un mare poco profondo (Fig. 2). Lo spettatore può quindi interagire con ognuna delle creature osservabili, aprendo un pannello illustrativo ad essa inerente.

Il prodotto è stato pensato per essere impiegato nell'accompagnare esposizioni museali o a scopo didattico, modificando i testi informativi in base al contesto. Nella versione attualmente sviluppata, ci si è rivolti ad ipotetici visitatori di un museo adulti/adolescenti. Si può usufruire del programma sia tramite un visore collegato ad un computer che tramite un semplice schermo, usando un mouse o un'interfaccia touch.

Il software prodotto, è il risultato dello sforzo condiviso di Bauplan Studio, un team indipendente composto da tre persone dalle competenze e background molto variegati: Vito Fabrizio Brugnola, paleoartista, si è occupato di scolpire in 3D i modelli dei diversi organismi e applicare le texture; Alessandro Piombini, studente magistrale di Ingegneria informatica all'Università di Bologna, ha animato i modelli e li ha collocati in un ambiente virtuale di sua creazione; Riccardo Rocchi, studente magistrale di Biodiversità ed Evoluzione sempre a Bologna, si è occupato della stesura dei testi e di reperire le informazioni necessarie per realizzare una rappresentazione il più fedele possibile alle più recenti conoscenze scientifiche sul biota di Ediacara.

Inoltre, successivamente alla premiazione, *A More Ancient Garden* è stato presentato dal team in occasione dell'APPI Day, organizzato dall'Associazione Paleontologica e Paleoartistica Italiana il giorno seguente al Premio Italiano di Paleoarte (13 Ottobre 2024), sempre presso il Museo Paleontologico di Montevarchi (Fig. 3).

Bauplan Studio ha intenzione di proseguire lo sviluppo di questo prodotto, che spera possa essere solo il primo di una prima di una serie di ricostruzioni in grado di riportare in vita con la realtà virtuale ecosistemi da tutte le ere geologiche della storia del nostro pianeta.

Il team vuole ringraziare APPI, il Museo Paleontologico di Montevarchi e tutti coloro che sono stati coinvolti nell'organizzazione della IV edizione del Premio Italiano di Paleoarte per le opportunità concesse di esporre e presentare il suo lavoro.

Una versione di prova del progetto è già disponibile (<https://bauplan-studio.itch.io/amoreancientgarden>).

a cura di di R. Rocchi, V. Fabrizio Brugnola,  
A. Piombini e A. Giamborino

# Storia delle GEOSCIENZE

👤 Coordinatore: **Marco Romano**

🌐 [www.socgeol.it/368/storia-delle-geoscienze.html](http://www.socgeol.it/368/storia-delle-geoscienze.html)

## CULTURA GEOLOGICA TRA *passato, presente e futuro*

**L**e attività della nostra sezione procedono con grande intensità; nel 2024 sono stati pubblicati due contributi rilevanti frutto degli atti di sessioni in convegni degli ultimi anni:

- 📖 *History of Stratigraphy, travels and mining: Some Italian perspectives*, volume curato da E. Vaccari per la rivista *Earth Sciences History* (Vol. 43/1).
- 📖 *Geology is coming home. A renewed interest in Italian geoscientific tradition*, sezione speciale pubblicata nei Rendiconti Online della Società Geologica Italiana (Vol. 62).

Anche il 2025 si apre con un programma ricco di iniziative:

Il 30 e 31 gennaio si è tenuta a Bologna la terza edizione del Geo-di, un evento nato nel 2023 in occasione del decennale della nostra sezione. Il convegno è stato preceduto da una visita alla Basilica di S. Petronio, all'Archiginnasio (con le rinnovate Lapidi "Aldrovandiana" e "Reale" e il Teatro Anatomico), al Portico del Pavaglione, alla Corte de' Galluzzi e alla Basilica Patriarcale di San Domenico, sotto la preziosa guida dei soci Paolo Macini e Gian Battista Vai. Nel corso dell'incontro sono stati proposti e discussi contributi sull'evoluzione storica della geologia e sullo studio delle georisorse. Nel pomeriggio è stato inoltre presentato il volume di paleoarte *Tempo Profondo*, curato da E. Troco, F. Manucci, S. Maganuco e L. Ambasciano, un fortunato connubio di arte e scienza per esplorare e raccontare il passato remoto del nostro pianeta.

Il 25 e 26 febbraio si è tenuto a Urbino il convegno *Storia e Geoscienze*, dedicato al rapporto tra ricerca storica e Scienze della Terra. L'evento ha avuto il merito di favorire il dialogo interdisciplinare tra storici di professione e geologi che si occupano di storia, analizzando i contributi reciproci tra storia e discipline come geologia, sismologia e vulcanologia. Nel corso delle due giornate di convegno sono stati discussi aspetti scientifici, epistemologici e metodologici, con particolare attenzione al ruolo della storia nelle geoscienze e all'influenza delle conoscenze scientifiche nella ricostruzione storica.

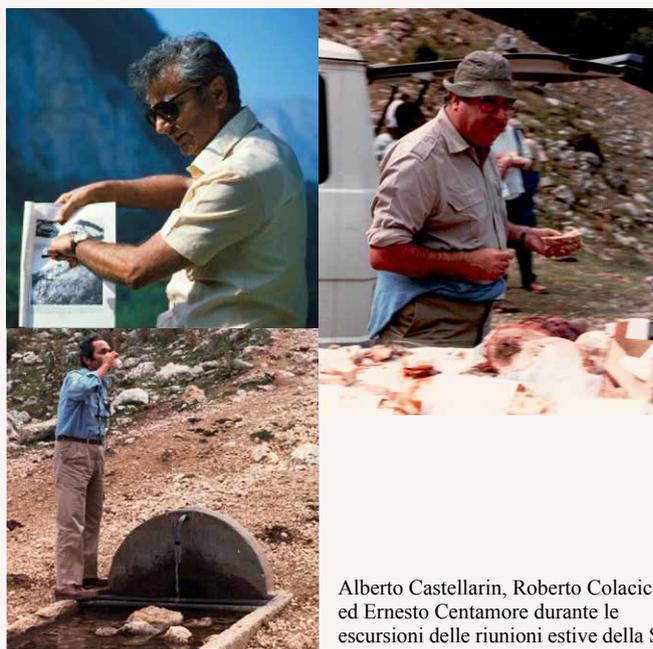
Dal 17 al 19 giugno, presso il Museo Regionale di Scienze Naturali di Torino, la nostra sezione organizzerà un importante convegno, seguito da un'escursione che ripercorrerà le tappe del congresso della Società Geologica Italiana tenutosi per la prima volta in Piemonte nel 1893.

Infine, segnaliamo con dispiacere la scomparsa di tre figure importanti della geologia italiana: Alberto Castellarin, Roberto Colacicchi ed Ernesto Centamore. Durante il Geo-di di Bologna è stato dedicato un momento in memoria di Alberto Castellarin e del suo contributo alla nostra disciplina.

*a cura di Simone Fabbi e Marco Romano*



Geo-di della Sezione di Storia delle Geoscienze ospitato nella prestigiosa cornice della Sala di Ulisse di Palazzo Poggi, sede dell'Accademia delle Scienze di Bologna.



Alberto Castellarin, Roberto Colacicchi ed Ernesto Centamore durante le escursioni delle riunioni estive della SGI.

# GEOLOGIA *Himalayana*

👤 Coordinatrice: Chiara Montomoli

🌐 [www.socgeol.it/381/geologia-himalayana.html](http://www.socgeol.it/381/geologia-himalayana.html)

La novità più importante per quanto riguarda la comunità scientifica interessata all'evoluzione del sistema Himalaya-Karakorum-Tibet è l'organizzazione del prossimo congresso HKT (Himalaya-Karakorum-Tibet *workshop*) che si svolgerà in Italia. Il *workshop* è l'appuntamento più rilevante per la comunità scientifica himalayana s.l. al quale partecipano ricercatrici e ricercatori da tutte le parti del mondo. È organizzato in una sessione plenaria suddivisa in diverse sotto-sessioni tematiche. Il primo congresso si è tenuto a Leicester nel 1985 e, con cadenza annuale, le varie sedi hanno spaziato dall'Europa, all'Asia e all'America.

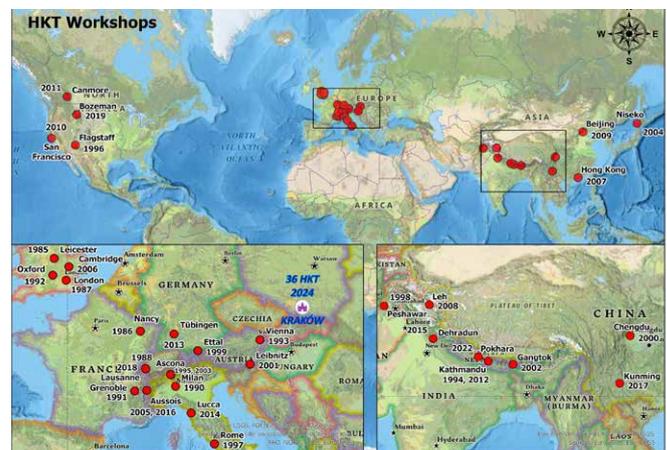
In Italia il congresso si è svolto a Milano (1990), Roma (1997) e Lucca (2014). A distanza di oltre 10 anni, afferenti alla Sezione di Geologia Himalayana hanno proposto la candidatura italiana durante lo scorso 36°HKT a Cracovia. La proposta è stata accolta con successo dalla comunità ed il congresso si svolgerà a Torino il prossimo settembre 2025 (1-6 Settembre) presso il Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi.

Il congresso sarà preceduto da un corso breve sullo studio e analisi delle principali microstrutture nelle splendide rocce himalayane (*"Microtectonics of Himalayan rocks: a tale of beauty"*) con un focus particolare alle zone di alta deformazione (*Main Central Thrust, South Tibetan Detachment System, High Himalayan Discontinuity*). Il corso si svolgerà presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino sotto la guida di Chiara Montomoli e Salvatore Iaccarino e prevede anche esercitazioni pratiche al microscopio.

I contributi orali e *posters* saranno concentrati nei giorni centrali (2, 3 e 4 Settembre). Si prevede un'escursione *post-congresso* (5, 6 Settembre) nelle Alpi Occidentali, su affioramenti di litosfera continentale (Dora Maira) e litosfera oceanica (Monviso).

I possibili interessati possono chiedere informazioni scrivendo a [✉ geologia.himalayana@unito.it](mailto:geologia.himalayana@unito.it) oppure seguendo i canali *social* della sezione.

Vi attendiamo numerosi!!!



Sedi dei precedenti congressi HKT presentata al 36°HKT a Cracovia.

Panorama del Monte Shivling (6543 m) in Garhwal Himalaya (India).

# GEOSCIENZE e Tecnologie Informatiche

👤 Coordinatrice: **Matia Menichini**

🌐 [www.socgeol.it/374/geoscienze-e-tecnologie-informatiche-git.html](http://www.socgeol.it/374/geoscienze-e-tecnologie-informatiche-git.html)

Nel mese di Novembre 2024, la sezione di Geoscienze e Tecnologie Informatiche ha pubblicato i Rendiconti *Online* della Società Geologica Italiana (ROL-SGI) riguardanti alcuni dei contributi presentati al XVII Convegno Nazionale della Sezione GIT tenutosi dal 11 al 13 Settembre 2023 a Pietrasanta (LU, Toscana)

🌐 [www.rendicontisocietageologicaitaliana.it/296/issue-97/Volume-64-2024.html](http://www.rendicontisocietageologicaitaliana.it/296/issue-97/Volume-64-2024.html)). Sono, invece, in corso di sottomissione gli articoli brevi (*short notes*, 6-8 pagine) per la rivista ROL-SGI relativi al XVIII Convegno Nazionale della Sezione GIT tenutosi dal 17 al 19 Giugno 2024 a Malnisio (PN, Friuli - Venezia Giulia). Per il prossimo XIX Convegno Nazionale

GIT 2025 ci sposteremo in Sicilia.

La Sezione GIT ha infatti selezionato come sede congressuale il Complesso monumentale “Castello di Milazzo” (Messina).

Il Castello (**Fig. 1**) è collocato in maniera strategica sulla penisola di Milazzo che si protende verso le Isole Eolie e rappresenta il complesso fortificato più grande di Sicilia e uno dei più importanti d'Europa. La sede è stata proposta dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), il quale contribuirà all'organizzazione logistica e scientifica dell'evento. Nello specifico, il convegno si articolerà con sessioni scientifiche nei giorni 16 e 17 Giugno 2025, presso il Castello di Milazzo, e con il consueto *field trip* che si svolgerà il giorno 18 Giugno 2025 presso l'Isola di Vulcano (**Fig. 2**). È inoltre in corso di valutazione un possibile ulteriore *field trip* per domenica 15 Giugno 2025 da svolgersi presso l'Area Marina Protetta di Capo Milazzo.

a cura di *Alessandro Casasso,  
Matia Menichini e Linda Franceschi*



Fig. 1 - Complesso monumentale “Castello di Milazzo”: sede del prossimo convegno GIT2025.

Fig. 2 - Isola di Vulcano: *field trip* previsto per il prossimo convegno GIT2025.

# GEOLOGIA *Strutturale*

Coordinatore: **Andrea Brogi**

[www.socgeol.it/400/geologia-strutturale-gigs.html](http://www.socgeol.it/400/geologia-strutturale-gigs.html)

**D**al 1° gennaio 2025 si è insediato ufficialmente il nuovo Consiglio Direttivo del Gruppo Italiano di Geologia Strutturale (GIGS), composto da geologi provenienti da università e istituzioni pubbliche di ricerca e governative:



**Pierfrancesco Burrato** Consigliere

è Primo Ricercatore presso l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e si occupa di tettonica attiva, geologia dei terremoti e morfotettonica.



**Daniela Di Bucci** Consigliera

lavora presso il Dipartimento della Protezione Civile e si occupa di geo-rischi e della relazione tra scienza e processo decisionale nel settore della riduzione del rischio di catastrofi e della protezione civile, a livello nazionale ed europeo.



**Matteo Maino** Consigliere

è Professore Associato in Geologia Strutturale e Tettonica all'Università di Pavia. Si dedica allo studio dei processi di deformazione delle rocce, attraverso il rilevamento geologico e l'analisi strutturale.



**Diego Pieruccioni** Consigliere

lavora presso il Servizio Geologico d'Italia (ISPRA) e si occupa del coordinamento, rilevamento ed analisi strutturale di alcuni fogli della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000.



**Stefano Zanchetta** Consigliere

è Professore Associato in Geologia Strutturale e Tettonica all'Università di Milano-Bicocca. Si occupa dello studio dei processi tettonici e metamorfici che caratterizzano i margini collisionali.



**Martina Zucchi** Segretaria e Consigliera

è Ricercatrice TDb in Geologia Strutturale e Tettonica all'Università di Bari Aldo Moro e si occupa della caratterizzazione geometrica e cinematica delle zone di faglia per lo studio di sistemi geotermici attivi e fossili.



**Salvatore Iaccarino** Vice-coordinatore

è Professore Associato in Geologia Strutturale e Tettonica all'Università di Torino e si occupa dello studio dell'evoluzione tettono-metamorfica degli orogeni collisionali.



**Andrea Brogi** Coordinatore

è Professore Ordinario in Geologia Strutturale e Tettonica all'Università di Bari Aldo Moro e si occupa delle relazioni tra le strutture crostali, le risorse geotermiche ed i depositi minerali, oltre che di sismotettonica e geologia regionale.

In continuità con l'attività del precedente Consiglio Direttivo, nel prossimo triennio continuerà la sinergia con la Società Geologica Italiana per valorizzare la Geologia Strutturale in tutte le sue ampie sfaccettature, favorendo lo sviluppo di collaborazioni tra università, enti di ricerca e istituzioni pubbliche e la crescita culturale dei giovani ricercatori.



Quarziti e micascisti cornubianitici del Monte Calamita (Isola d'Elba, località Pareti di Capoliveri), con vene di quarzo deformate in strutture asimmetriche di tipo "pinch and swell". (Foto: Andrea Brogi)

# GEOETICA e Cultura Geologica

👤 Coordinatore: Enrico Cameron

🌐 [www.socgeol.it/371/geoetica-e-cultura-geologica.html](http://www.socgeol.it/371/geoetica-e-cultura-geologica.html)

La Sezione di Geoetica e Cultura Geologica della SGI promuove i temi della geoetica a livello nazionale e internazionale e coordina la rete internazionale della IAPG - *International Association for Promoting Geoethics* ([www.geoethics.org](http://www.geoethics.org)). Inoltre, è parte integrante dell'*International Geoethics Research Infrastructure* (IGRI), costituita dalla IAPG, dalla Commissione di Geoetica dell'*International Union of Geological Sciences* (IUGS) e dalla Cattedra di Geoetica dell'*International Council for Philosophy and Human Sciences* (CIPSH). Di seguito si riportano informazioni sulle principali attività promosse, sostenute o condotte direttamente dalla sezione nei mesi scorsi, e sugli eventi programmati nei prossimi mesi. Infine, si segnalano alcuni articoli scientifici di recente pubblicazione.

## Nuovo Executive Council della IAPG

Dal 1 Novembre 2024 è operativo il nuovo *Executive Council* della IAPG (Fig. 1): Silvia Peppoloni (Presidente, Italia); Elizabeth I. Rovere (Vice Presidente, Argentina); Peter T. Bobrowsky (Vice Presidente, Canada); Giuseppe Di Capua (Segretario Generale e Tesoriere, Italia); Vincent S. Cronin (Coordinatore Continentale per il Nord America, USA); Marita Ahumada (Coordinatore Continentale per il Sud America, Argentina); Ezzoura Errami (Coordinatore Continentale per l'Africa, Marocco); Vitor Correia (Coordinatore Continentale per l'Europa, Portogallo); Surya Parkash (Coordinatore Continentale per l'Asia, India); Matthew Hughes (Coordinatore Continentale per l'Oceania, Nuova Zelanda). Per ulteriori informazioni: [www.geoethics.org/executive-council](http://www.geoethics.org/executive-council)

## Nuova sezione della IAPG

La IAPG ha istituito una nuova sezione in Colombia. La sezione è coordinata da Clemencia Gómez, Professore Associato all'Universidad Nacional de Colombia dal 2017. IAPG-Colombia è la 37a sezione nazionale della IAPG. Per ulteriori informazioni: [www.geoethics.org/post/welcome-to-iapg-colombia](http://www.geoethics.org/post/welcome-to-iapg-colombia)



Fig. 1 - Membri del nuovo *Executive Council* della IAPG (in carica dal 1 Novembre 2024).

## Commissione di Geoetica dello IUGS: Task Group on AI in Geosciences

La Commissione di Geoetica dello IUGS ha creato un *Task Group* per affrontare le questioni relative all'uso dell'Intelligenza Artificiale (AI) nelle geoscienze. L'obiettivo è di redigere un documento rivolto alla comunità geoscientifica internazionale, che offra riflessioni e raccomandazioni sul tema. Il *Task Group* è formato da 4 membri: Paul Cleverley (Chair, Regno Unito), Mrinalini Kochupillai (Germania/India), Mark Lindsay (Australia), Emma Ruttkamp-Bloem (Sud Africa). Per ulteriori informazioni: [www.geoethics.org/tg-cg-ai-geosciences](http://www.geoethics.org/tg-cg-ai-geosciences)

## Podcast: Navigating Geoethics – Balancing Science and Responsibility in Geosciences

- ▶ La *Society of Exploration Geophysicists* (SEG) ha pubblicato il podcast dell'intervista a Giuseppe Di Capua. Per maggiori informazioni e ascoltare il podcast: [www.geoethics.org/post/podcast-navigating-geoethics-balancing-science-and-responsibility-in-geosciences](http://www.geoethics.org/post/podcast-navigating-geoethics-balancing-science-and-responsibility-in-geosciences)

## Convegni

- ▶ Il 26 Novembre 2024 si è tenuto il *meeting* inaugurale del *Geoethics Special Interest Group* della *Geoscience Society of New Zealand* (GSNZ)/IAPG-New Zealand (Fig. 2), nell'ambito della GSNZ Annual Conference 2024, svoltasi a Ōtepoti Dunedin (Nuova Zelanda). All'evento hanno partecipato Silvia Peppoloni, Giuseppe Di Capua e Matthew Hughes (Coordinatore di IAPG-New Zealand) per discutere le attività da avviare nel prossimo futuro e per presentare l'*International Geoethics Research Infrastructure* (IGRI) alla comunità geoscientifica locale. Durante la conferenza GSNZ, Matthew Hughes ha tenuto una *keynote* dal titolo "A *Geoethical Vision for Aotearoa New Zealand*".
- ▶ La IAPG sponsorizza il *15th IAEG Asian Regional Conference* (ARC-15) che si svolgerà a Kathmandu (Nepal) dal 27 al 29 Novembre 2025. Tema dell'evento: "Geological Engineering for Societal and Sustainable Development": <https://arc15.nseg.org.np/>

## Pubblicazioni: Journal of Geoethics and Social Geosciences

- Quattro articoli *open access* disponibili al link: [www.journalofgeoethics.eu/index.php/jgsg/issue/view/6](http://www.journalofgeoethics.eu/index.php/jgsg/issue/view/6)
- Altri due articoli scaricabili al link: [www.journalofgeoethics.eu/index.php/jgsg/issue/view/5](http://www.journalofgeoethics.eu/index.php/jgsg/issue/view/5)

a cura di Giuseppe Di Capua



Fig. 2 - Partecipanti al primo meeting del *Geoethics Special Interest Group* of the *Geoscience Society of New Zealand* (GSNZ)/IAPG-New Zealand (Dunedin, 26 Novembre 2024).

# MATERIE PRIME STRATEGICHE

## *e valorizzazione dei giacimenti minerali*

📍 Coordinatore: **Simone Vezzoni**

🌐 [www.socgeol.it/508/materie-primе-e-giacimenti-ggm.html](http://www.socgeol.it/508/materie-primе-e-giacimenti-ggm.html)

### MATERIE PRIME CRITICHE E STRATEGICHE: *innovazione e potenziale inesplorato*

La definizione “Materie Prime Critiche e Strategiche” (CRM/SRM), ormai parte del linguaggio quotidiano di notizie economiche e geopolitiche, indica un gruppo di georisorse tra cui metalli (Li, REEs), minerali (feldspati), e alcuni tipi di roccia (bauxite). Sebbene poco conosciuti dal grande pubblico, le CRM/SRM rivestono un ruolo fondamentale nell’attuale sviluppo tecnologico nei settori *high-tech* e della transizione energetica, mobilità elettrica e sicurezza nazionale. La loro estrazione è spesso monopolio di pochi Paesi, nei quali eventi geologici, tettonici e climatici, ne hanno favorito la concentrazione in giacimenti minerali. Le REEs, per esempio, vengono estratte principalmente in Cina, da “giacimenti in

carbonatiti” (Bayan Obo) e da giacimenti di “assorbimento ionico in argille”, da suoli derivati dall’alterazione chimica di graniti (ad es. province di Jiangxi, Guangxi). Analogamente, l’estrazione di litio è dominata dall’Australia con i suoi giacimenti in pegmatiti (*Greenbushes*) e dal Cile, dove il litio viene estratto dalle salar del deserto di Atacama. Molte CRM/SRM, inoltre, sono associate in quantità minori o in traccia in mineralizzazioni di metalli comuni (Cu, Zn) o preziosi (Au) e vengono estratti esclusivamente come sottoprodotto durante le fasi di trattamento metallurgico di minerali metallici o da fanghi estrattivi (*tailings*). Ne sono un esempio il gallio ed il germanio che vengono recuperati rispettivamente come sottoprodotti durante le fasi di estrazioni di alluminio dalle

bauxiti e di zinco da solfuri (USGS, 2024). Il recupero di CRM/SRM da giacimenti di metalli base è stato fortemente trascurato nel passato per la loro scarsa applicazione nelle tecnologie dell’epoca. Di conseguenza, le discariche minerarie (Fig. 1), così come le mineralizzazioni primarie residue dei paesi europei, dotati di una forte tradizione minerario-estrattiva come l’Italia, costituiscono un potenziale attualmente inesplorato, meritevole di studi dedicati.

USGS 2024.

*Mineral Commodity Summaries 2024.*

🌐 <https://pubs.usgs.gov/publication/mcs2024>

*a cura di Licia Santoro*



Fig. 1 - I “Fanghi rossi” della miniera di Monteponi, Sardegna (foto: S. Naitza).

# GEOLOGIA *Ambientale*

👤 Coordinatore: **Mariano Mercurio**

🌐 [www.socgeol.it/401/geologia-ambientale.html](http://www.socgeol.it/401/geologia-ambientale.html)

## AMBIENTI SOTTERRANEI *come laboratorio per la geologia ambientale*

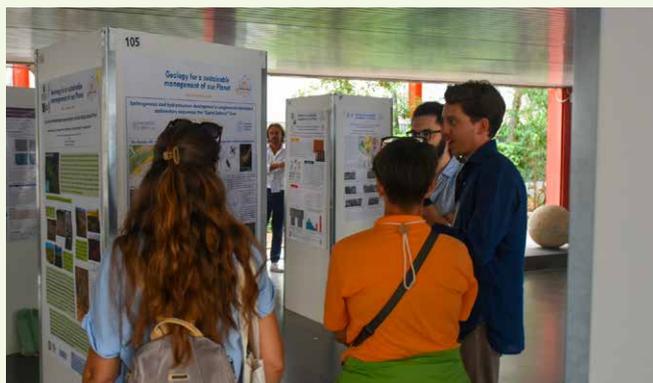
In occasione del congresso annuale SGI-SIMP, il gruppo di coordinamento ha sponsorizzato la sessione S27 intitolata “*Caves, mines and other underground spaces as field laboratories in environmental geology*”. Oltre 50 autori hanno condiviso le proprie esperienze di studio proponendo 16 contributi multidisciplinari. Tra i temi emergenti quello degli impatti antropici sull'ambiente sotterraneo, dei rischi ad essi associati e dei metodi integrati per mitigarli, un programma di presentazioni orali che ha spaziato dalla documentazione alla ricerca applicata.

Da un contesto internazionale con i risultati del recente censimento dell'Unione Internazionale di Speleologica (UIS) sulle grotte esposte a rischio di conservazione nel mondo (Vogel et al.) ci si è proiettati su esempi italiani che illustrassero gli effetti negativi dell'illuminazione sui geo-ecosistemi cavernicoli (Bellepode et al.) e i nuovi approcci per identificare le microplastiche nelle acque sotterranee (Balestra et al.). Di contaminazione negli acquiferi si è parlato anche in uno studio sul rilascio di metalli dai drenaggi di miniera (Idini et al.), mentre altri due studi supportano la dei rischi in zone antropizzate: (1) un metodo integrato di dati geologico-geofisici e nuove tecnologie per la conoscenza delle strutture archeologiche sotto il colle Palatino a Roma (Gaudiosi et al.) e (2) un'indagine regionale sull'esposizione a radiazioni ionizzanti nei luoghi di lavoro sotterranei (Ruberti et al.). I sei interventi orali sono stati preceduti da una *keynote* del Prof. Vigna (Politecnico di Torino) che ha tracciato un'interessante panoramica sugli scambi energetici tra aria-acqua-roccia nelle grotte (**Fig. 1**).

Nella sezione *poster* hanno trovato spazio altri importanti contributi con ricerche di base sui processi speleogenetici in particolari litologie (Fioraso & Riva) (**Fig. 2**), e applicative, tra cui la mitigazione degli *hazards* associati alle zone minerarie con tecniche di *remote sensing* (Tinagli et al.) e di monitoraggio micrometeorologico (Sanna). Molti degli studi presentati hanno focalizzato l'attenzione sullo sfruttamento sostenibile delle risorse sotterranee in aree carbonatiche: la valutazione degli impatti antropici sull'atmosfera delle grotte turistiche (Vigna & Balestra); l'analisi del contributo termico introdotto dai visitatori negli habitat cavernicoli (Sanna et al.); l'insegnamento accademico per i futuri architetti della pianificazione sostenibile degli spazi sotterranei (Ruberti & Sanna); le metodologie per la conservazione delle cavità naturali nell'attività speleologica ricreativa (Didonna et al.); la preservazione dei sistemi carsici dai danni causati dall'uomo ma anche dalla scienza, con un *focus* sul Parco dell'Alta Murgia



**Fig. 1** - Un momento di discussione durante le presentazioni orali (foto Iolanda Gaudiosi).



**Fig. 2** - Presentazione dei contributi durante la sessione poster (foto [www.geoscienze.org/bari2024/](http://www.geoscienze.org/bari2024/)).

(Mastronuzzi et al.). A corollario di questo appuntamento, che ha messo a confronto esperti e giovani ricercatori accomunati dall'utilizzo degli ambienti sotterranei come laboratorio scientifico, si è fatta sinergia tra le sessioni che includevano ricerche in ambito carsico (S26, S27 e S45) per la pubblicazione nei Rendiconti *Online* della Società Geologica Italiana di una *special issue* dal titolo “*Recent research advancements on subsidence, sinkholes and karst*”.

a cura di Laura Sanna

# GEOsed

● Coordinatore: **Marcello Tropeano**

🌐 [www.socgeol.it/369/geosed.html](http://www.socgeol.it/369/geosed.html)

**Q**uando leggerete queste righe saremo già entrati nel pieno del terzo anno sotto la guida dell'attuale comitato. Con 172 iscritti, GeoSed si conferma capace di attrarre ricercatori, promuovendo e creando occasioni di confronto come la IX Giornata "Incontri" di Geologia. Questo evento, organizzato in collaborazione con le sezioni di Geologia Marina e Geologia Planetaria, si è tenuto a Catania il 22 Novembre 2024

(Fig. 1). La giornata ha registrato un'ampia partecipazione con 108 iscritti (di cui 67 giovani) provenienti da tutta Italia. In questa occasione è stata premiata Marianna Cicala (UniBA) per la miglior guida all'escursione. Soci e socie delle sezioni hanno presentato ricerche su temi molto diversi fra loro, sottolineando l'importanza della multidisciplinarietà. Daniele Casalbore (UniRoma Sapienza) ha illustrato i più recenti sistemi di mappatura dei fondali per comprendere i processi geologici in ambiente marino. Simonetta Cirilli (UniPG) ha discusso di eventi ipertermali del Permo-Trias. Salvatore Critelli (UniCAL), in base alla provenienza delle arenarie fanerozoiche della regione circummediterranea, ha descritto le dinamiche di formazione e smantellamento di Pangea. Alina Polonia (CNR-ISMAR, Bologna) ha mostrato testimonianze di



**Fig. 1** - Un momento della IX Giornata "Incontri" di Geologia (Catania, 22 Novembre 2024).

terremoti nel Mediterraneo registrate in sedimenti marini. Fulvio Franchi (UniBA) e Monica Pondrelli (UniCH) ci hanno condotto su Marte, il primo attraverso lo studio di analoghi terrestri africani, la seconda mostrando depositi marziani legati alla presenza di antiche acque sotterranee. Il giorno successivo, 57 persone hanno partecipato a un'escursione al Monte Etna, Acicastello-Aci Trezza (Fig. 2).

Ci auguriamo che questa iniziativa di confronto fra diverse anime e sezioni della SGI possa ripetersi in altre occasioni, visto il vivo interesse e la nutrita partecipazione di giovani colleghi, in diversi casi affacciatisi per la prima volta ad incontri promossi dalle sezioni coinvolte o dalla SGI.



**Fig. 2** - Foto di gruppo durante l'escursione al Monte Etna.

# GEOLOGIA Marina

● Coordinatore: Attilio Sulli

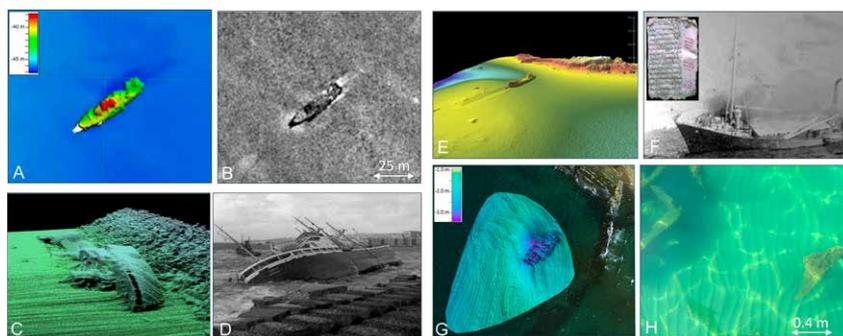
🌐 [www.socgeol.it/255/geologia-marina.html](http://www.socgeol.it/255/geologia-marina.html)

Le indagini geofisiche marine condotte per scopi geologici e geomorfologici spesso rivelano molto più di quanto ci si aspetti. Infatti, oltre a fornire informazioni sulla natura del fondale e sui processi geomorfologici in atto, non di rado restituiscono immagini di relitti di navi e aerei e l'emozione in questi casi è sempre intensa, anche pensando alle tragedie che hanno accompagnato gli affondamenti ed alle perdite di vite umane. Questo il caso della Nave oceanografica Thetis del CNR (Fig. 1 A e B), speronata nel 2007 durante una crociera di ricerca nel Canale di Sicilia, in cui perse la vita il collega russo Petr Mikheychik, oceanografo dell'Accademia Russa delle Scienze.

Il ritrovamento di relitti in mare riapre lo sguardo su eventi passati, quasi sempre drammatici, che hanno segnato le nostre comunità ma di cui spesso si perde la memoria. I relitti sono testimoni silenziosi di eventi meteomarinari eccezionali, fallimenti, battaglie, tragedie personali e collettive e raccontano storie di società che si evolvono, che commerciano, che migrano. Il mare mette tutto a tacere e copre con un velo di sedimenti tutte queste emozioni. La vita poi riprende possesso di questi luoghi, che diventano substrato per organismi colonizzatori, con forme e colori vivaci, creando paesaggi magici da osservare con videocamere o in immersione e un legame tra la vita presente ed il passato.

Il Mar Mediterraneo, fin dagli albori della storia luogo di incontri e di scontri tra popoli, è uno scrigno di tesori sommersi, con innumerevoli relitti di navi e aerei che raccontano frammenti della nostra storia. È un mondo in cui i geologi marini si imbattono solo saltuariamente e casualmente, ma attorno al quale ruotano molteplici attività di ricerca, numerose riviste scientifiche dedicate all'argomento e metodologie di ricerca sempre più innovative, ultimamente implementate con procedure di *machine learning* (Huang et al., 2022).

Lungo le coste della Campania e del Mediterraneo, l'utilizzo esteso di sonar a scansione laterale (SSS) e di ecoscandagli multifascio (MBES) per finalità geomorfologiche e di cartografia tematica da oltre 30 anni ha creato un ricco catalogo di relitti, alcuni già noti ed altri di nuova segnalazione (de Alteriis et al., 2021; Passaro et al., 2009; Passaro, 2010).



**Fig. 1** - A e B) Il relitto della N/O Thetis, visualizzato con MBES e con backscatter, mostra il cuneo della falla di speronamento sulla poppa a dritta; (C) la nave Doris adagiata su basso fondale nel Golfo di Napoli, visualizzata da MBES e (D) in una foto d'epoca durante il naufragio; (E) la nave Kent, detta nave dei Corani, visualizzata con MBES e (F) in una foto d'epoca; (G) il relitto di un mezzo da sbarco della II Guerra Mondiale, affondato durante l'Operazione valanga, semisepolto in pochi metri d'acqua, visualizzato con MBES; (H) fotografia di una porzione affiorante del relitto con evidenti interazioni con la dinamica litorale.



**Fig. 2** - La localizzazione dei relitti di Fig. 1.

Il Thetis, il Doris, il Kent ed un mezzo da sbarco affondato durante l'Operazione Valanga della II Guerra Mondiale si mostrano ancora dal fondo del mare (Figg. 1 e 2).

a cura di Francesca Budillon, Francesco Latino Chiocci, Renato Tonielli e Davide Vernazzani

## Bibliografia:

de Alteriis G., Ombrato L., Amato L., Guastaferro C., Scuto A., Avilia F. (2021). *The 1799 Bourbon Fleet Sunk in Naples Harbour and the Flora Corvette Shipwreck*. International Journal of Nautical Archaeology, 138-153.

<https://doi.org/10.1080/10572414.2021.1943230>

Huang C., Zhao J.H., Yu Y.C., Zhang H.M. (2022). *Comprehensive Sample Augmentation by Fully Considering SSS Imaging Mechanism and Environment for Shipwreck Detection Under Zero Real Samples*. IEEE Transaction on geoscience and Remote Sensing, 60.

<https://doi.org/10.1109/TGRS.2021.3116671>

Passaro S., Budillon F., Ruggieri S., Bilotti G., Cipriani M., Di Maio R., D'isanto C., Giordano F., Leggieri C., Marsella E., Soldovieri M.G. (2009). *Integrated geophysical investigation applied to the definition of buried and outcropping targets of archaeological relevance in very shallow water: Alpine and Mediterranean Quaternary*, 22(1), 33-38.

Passaro S. (2010). *Marine electrical resistivity tomography for shipwreck detection in very shallow water: a case study from Agropoli (Salerno, southern Italy)*. Journal of Archaeological Science, 37, 1989-998.

<https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.03.004>

# GEOLOGIA Planetaria

Coordinatrice: **Barbara Cavalazzi**

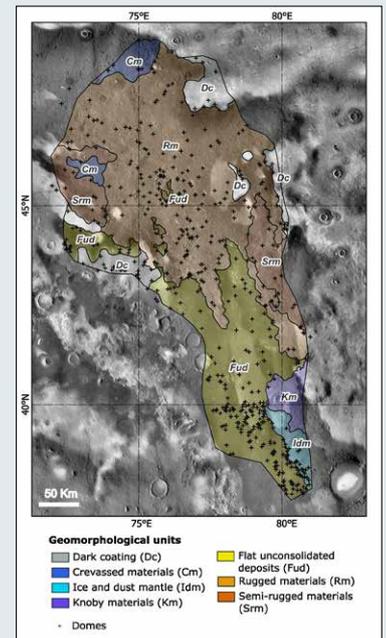
[www.socgeol.it/372/geologia-planetaria.html](http://www.socgeol.it/372/geologia-planetaria.html)

## STUDIO GEOLOGICO *di domi ignei intrusivi sulla Luna e su Marte*

**G**li sforzi per l'esplorazione della Luna e di Marte si stanno intensificando, nuove missioni planetarie vogliono portare l'uomo sul pianeta e fare passi avanti per futuri insediamenti. Per raggiungere questo obiettivo, è fondamentale avere una solida conoscenza dei processi geologici di queste superfici. Uno di quelli meno studiati sono le cupole ignee intrusive. Nell'ambito di una ricerca di dottorato, sono stati studiati in dettaglio due sistemi di cupole intrusive (Suárez-Valencia et al., 2024). I *Valentine Domes* si trovano nel bacino Serenitatis sulla Luna (Fig. 1). Due domi sono stati identificati da Lena et al. (2013). Ne abbiamo scoperto un terzo utilizzando parametri morfometrici derivati da topografia ad alta risoluzione. I duomi sono di forma ovale, hanno un rilievo modesto e sono attraversati da fratture. Sono stati trovati domi e dicchi secondari più piccoli, che suggeriscono che un impulso magmatico successivo si sia verificato nella stessa area. Il posizionamento dei grandi domi è avvenuto tra 2,8 Ga e 1,81 Ga, mentre le strutture secondarie si sono formate successivamente. L'analisi ha mostrato che questo sistema intrusivo era più grande di quanto precedentemente conosciuto e che è stato attivo per diversi milioni di anni.

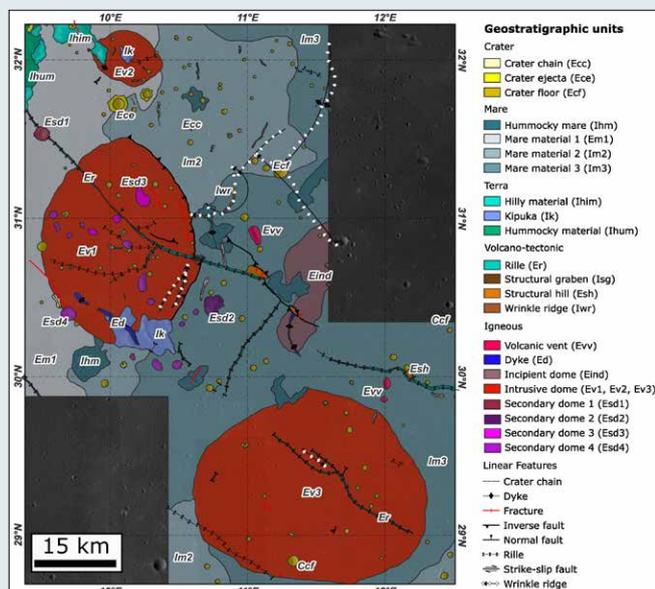
Il campo di domi nell'Utopia Planitia su Marte è stato menzionato da Farrand et al. (2021); si tratta di un'ampia pianura in cui sono disseminati centinaia di duomi ignei (Fig. 2). A differenza del caso lunare, questi duomi si sono formati con un sistema intrusivo-estrusivo, poiché le loro forme variano da criptodomi intrusivi a domi vulcanici estrusivi. Abbiamo identificato due gruppi di

cupole con dimensioni e distribuzioni diverse: il primo si è formato in seguito a un evento magmatico tra 3,0 Ga e 1,25 Ga, mentre il secondo è successivo. I duomi mostrano anche allineamenti preferenziali, che seguono lineamenti strutturali locali, che il magma ha probabilmente utilizzato come aree di debolezza per risalire. I domi lunari e marziani presentano delle analogie: entrambi sono su terreni basaltici e i loro magmi hanno sfruttato le caratteristiche strutturali per intrudersi. Tuttavia, i *Valentine Domes* si sono formati in un contesto magmatico di tipo poligenico, mentre il campo di domi di Utopia Planitia ha avuto origine in un sistema verosimilmente monogenetico. Si auspica che il nostro lavoro possa aprire le porte a ulteriori studi su questi sistemi.



**Fig. 2** - Carta geomorfologica del campo di domi su Utopia Planitia.

a cura di Javier Eduardo Suárez-Valencia, Angelo Pio Rossi, Barbara Cavalazzi, Monica Pondrelli



**Fig. 1** - Carta geostatigrafica dei *Valentine Domes* (Modified from Suárez-Valencia et al., 2024).

### Bibliografia:

Fawdon P. et al. (2024). *The high-resolution map of Oxia Planum, Mars; the landing site of the ExoMars Rosalind Franklin rover mission*. Journal of Maps, 20(1), 2302361. <https://doi.org/10.1080/17455647.2024.2302361>

Farrand W.H., Rice J.W., Chuang F.C., & Rogers A.D. (2021). *Spectral and geological analyses of domes in western Arcadia Planitia, Mars: Evidence for intrusive alkali-rich volcanism and ice-associated surface features*. Icarus, 357, 114111. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2020.114111>

Lena R., Wöhler C., Phillips J. & Chiochetta M.T. (2013). *Lunar Domes*. Springer Milan. <https://doi.org/10.1007/978-88-470-2637-7>

Suárez-Valencia J. & Rossi A. (2024). *Geostatigraphic mapping of the intrusive Valentine Domes on the Moon*. <https://doi.org/10.31223/X5JX12>



# 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 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.



IL MODULO AQUANEST

**valsir**<sup>®</sup>  
QUALITÀ PER L'IDRAULICA

# LA TRADUZIONE ITALIANA DI "EXPLORING GEOSCIENCES ACROSS THE GLOBE": *un importante contributo alla Didattica delle Geoscienze*

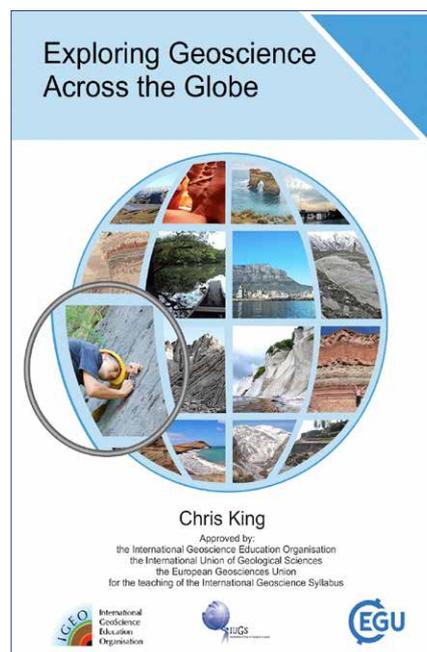
La Società Geologica Italiana (SGI), annuncia con orgoglio la pubblicazione della traduzione italiana del libro di Chris King *"Exploring Geosciences Across the Globe"*. Quest'opera, realizzata grazie alla collaborazione della Divisione Didattica delle Geoscienze della SGI, rappresenta un importante passo avanti nella diffusione delle conoscenze geologiche in Italia.

Il testo, originariamente concepito per studenti sedicenni a livello internazionale sotto il patrocinio dell'*European Geological Union - EGU*, dell'*International Union of Geo Science - IUGS*, con la sua subcommissione *Committee of Geosciences Education - COGE* e l'associata *International Union of Geosciences - IGEO*, offre una panoramica completa delle Scienze della Terra. Sebbene non sia perfettamente allineato con i curricula scolastici italiani, si rivela uno strumento prezioso per i docenti, fornendo un approccio globale all'insegnamento della materia. La traduzione italiana, curata da Susanna Occhipinti, è stata arricchita con immagini di contesti italiani di particolare interesse geologico.

La revisione scientifica è stata condotta da un team di esperti accademici: Eleonora Paris (UNICAM) per i primi due capitoli, Elena Bonaccorsi (UNIP) per i capitoli 3 e 5, Enrico Capezzuoli (UNIFI) per il capitolo 4, e Francesca Cifelli (UNIROMA3) per i capitoli 6 e 7. Il loro contributo ha garantito l'accuratezza scientifica e la chiarezza espositiva del testo.

L'importanza di questa pubblicazione è particolarmente rilevante per l'Italia, un paese caratterizzato da una complessa geologia: due catene montuose attive, attività sismica, vulcani attivi e criticità idrogeologiche. I cambiamenti climatici in corso stanno amplificando queste vulnerabilità del territorio italiano, rendendo ancora più cruciale la diffusione di una conoscenza geologica corretta e scientificamente fondata.

Il libro si propone come strumento didattico essenziale per le scuole, aiutando i docenti nell'insegnamento della Geologia e preparando gli studenti a comprendere meglio questa disciplina fondamentale. L'obiettivo ultimo è formare cittadini più consapevoli della natura geologica del proprio territorio e delle sue dinamiche.



Link al Libro *"Exploring Geosciences Across the Globe"*:  
<https://www.socgeol.it/N6568/exploring-geoscience-across-the-globe.html>

# CONGRESSO CONGIUNTO SIMP-SGI PADOVA 2025

## *Le Geoscienze e le sfide del XXI Secolo*

Il 94° congresso della Società Geologica Italiana (SGI), organizzato dalla Società di Mineralogia e Petrologia (SIMP), si terrà a Padova ([www.geoscienze.org/padova2025](http://www.geoscienze.org/padova2025)) dal 15 al 18 Settembre 2025 presso il nuovo centro congressi "Padova Congress" ([www.padovacongress.it](http://www.padovacongress.it)). I congressi SIMP-SGI rappresentano l'evento più importante dell'anno nell'ambito delle Geoscienze in Italia, con una media negli ultimi anni di circa 1000 partecipanti e 800 contributi scientifici.

La tematica affrontata in questa edizione vuole sottolineare il ruolo fondamentale che le Geoscienze ricoprono per affrontare le sfide del XXI secolo. Negli ultimi cento anni la popolazione mondiale è quadruplicata, passando da 2 a 8 miliardi, e potrebbe arrivare a 11 miliardi entro il 2100. Questo significa una maggiore necessità di acqua, cibo, energia e materie prime, ma anche una responsabilità sempre più grande: **vivere in armonia con il nostro pianeta**,



Logo del Congresso SIMP-SGI Padova 2025 disegnato da Francesca Innocenzi (Università di Padova). La forma ellittica riproduce Prato della Valle, tra le più grandi Piazze d'Europa e uno dei simboli di Padova.



**Le Geoscienze  
e le sfide del XXI secolo**  
16-17-18 settembre 2025



**Le Geoscienze  
e le sfide  
del XXI secolo**

16-17-18 settembre 2025 **PADOVA**

**SAVE THE DATE**





Visione panoramica sulla frana del Vajont, destinazione di una delle escursioni del Congresso (cortesia di Monica Ghirotti).

**per noi e per chi verrà dopo di noi.** Le Geoscienze da sempre ci aiutano a rispondere alle grandi domande (Come si formano i minerali? E le montagne? Da dove veniamo?) e oggi più che mai si pongono al centro della ricerca di soluzioni per costruire un futuro sostenibile. Dalle strategie per la gestione delle risorse naturali alle tecnologie che rendano le nostre comunità più resilienti, le Geoscienze offrono infatti gli strumenti e le conoscenze per convivere in maniera più armoniosa possibile con l'ambiente che ci circonda. Inoltre, i cambiamenti climatici indotti e amplificati dalle attività umane stanno già lasciando il segno: riscaldamento globale, desertificazione, innalzamento del livello del mare, aumento della frequenza di eventi estremi come alluvioni e frane. Questi fenomeni rappresentano sfide complesse ma allo stesso tempo stimolano l'innovazione. Infine, l'esplorazione spaziale e persino la futura colonizzazione di altri pianeti aprono nuove frontiere per le Geoscienze.

Il congresso si aprirà il **15 Settembre** con una giornata dedicata ai dottorandi e con la cerimonia di apertura, cui seguiranno **tre giornate congressuali** articolate in **sessioni** scientifiche (dove si darà ampio spazio anche ai contributi tipo *poster*), conferenze **plenarie** di studiosi di rilievo internazionale, **workshop** e **tavole rotonde** su tematiche chiave delle **Geoscienze**, anche ad

alto **impatto geologico-sociale**. Infatti, i congressi SGI-SIMP permettono la promozione della cultura geologica e l'incontro tra **ricercatori italiani e stranieri**, con l'obiettivo di illustrare i traguardi raggiunti dalle Geoscienze e fissarne di nuovi. Il congresso consentirà uno scambio attivo tra accademia e mondo produttivo, grazie alla presenza di **stand espositivi** delle aziende, e con i **professionisti** che potranno aggiornare conoscenze e competenze. Tra le sessioni scientifiche, ve ne sarà una **dedicata agli insegnanti delle scuole di ogni ordine e grado**, che accedono gratuitamente all'intero congresso. Infatti, il congresso favorirà anche il confronto su contenuti e metodi didattici delle Geoscienze con lo scopo di sperimentare nuovi metodi di comunicazione con i più giovani.

Saranno, inoltre, organizzate **escursioni pre- e post-congresso**, per approfondire le straordinarie bellezze e peculiarità geologiche del nord-est italiano. Queste comprenderanno la visita di luoghi simbolo della Geologia Italiana (Vajont), la laguna di Venezia, le Dolomiti, la finestra dei Tauri e altro ancora. La descrizione delle escursioni sarà presto disponibile nel sito del congresso.

Vi aspettiamo a Padova 2025, saremo felici di accogliervi e imparare con voi!

# RICERCA DI BASE E RICERCA APPLICATA: *la Geologia come contributo ad un processo di produzione di beni sociali*

Il 4 Ottobre 2024 si è tenuto a Chieti, all'Università degli Studi "G. d'Annunzio" - Aula Galileo, un convegno dal titolo: "La geologia a tutela dell'ambiente e a difesa dai rischi naturali: ruolo e contributi della geologia di base nell'insegnamento di Paolo Scandone". Il convegno è stato promosso dall'OGRA (Ordine Geologi Regione Abruzzo) e dai CdL in Scienze Geologiche dell'Università "G. d'Annunzio", in collaborazione con il Geoparco UNESCO Majella, per ricordare la figura umana e l'attività scientifico-didattica di P. Scandone (vedi Convegno: L'Eredità scientifica di Paolo Scandone, geologo (Roma, 29 Marzo 2019). Atti dei Convegni Lincei (2020), vol. 335, 239 pp.

[www.geotecnologie.unisi.it/scandone](http://www.geotecnologie.unisi.it/scandone)) e per conferire il premio al vincitore della 2° edizione del Premio di Laurea "Paolo Scandone". Il premio, consistente in una somma di denaro pari ad Euro 2.000 è rivolto a neo laureati magistrali ed è finanziato dall'OGRA e dal "Parco Nazionale della Majella".

L'iniziativa di istituire il premio "P. Scandone" data al 2019 con l'allora Presidente dell'OGRA Nicola Tullo, sostenuto e aiutato in questo dai consiglieri G. Boscaino e G. Catenacci. È attraverso l'appassionata e instancabile opera organizzativa di G. Boscaino che negli anni 2013-2015 P. Scandone, invitato dall'OGRA a tenere seminari ed escursioni in Abruzzo, instaurò un efficace rapporto didattico-formativo con il mondo della professione abruzzese, impostando in tal modo una sinergia, oggi più che mai indispensabile, tra l'accademia e il mondo della professione. L'impegno di P. Scandone nell'indirizzare la ricerca verso obiettivi di utilità sociale data dalla seconda metà degli anni '70, con la responsabilità del coordinamento nazionale del sottoprogetto "Modello Strutturale Tridimensionale d'Italia" del PFG (Progetto Finalizzato Geodinamica) del CNR i cui risultati scientifici divennero, per la prima volta, elementi essenziali di ricaduta sociale. Il prodotto finale del sottoprogetto, la carta "Structural Model of Italy 1:500.000 and Gravity Map", che fornisce una rappresentazione omogea delle unità tettono-stratigrafiche dell'intero territorio nazionale, divenne in seguito strumento essenziale nella realizzazione di elaborati finalizzati alla valutazione della pericolosità sismica e alla prevenzione dei rischi geologici, elaborati indispensabili per predisporre strategie di base per l'attenuazione dei rischi. Fu infatti negli anni '80 e '90, all'interno del GNDT (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti) che P. Scandone, responsabile di alcune linee di ricerca, produsse con altri ricercatori il Modello Sismotettonico d'Italia da cui scaturì la pionieristica carta della zonazione sismica in Italia. La ricerca scientifica concepita come contributo ad un

processo di produzione di beni sociali, è sempre stata la filosofia di P. Scandone, concetto ribadito anche nel gennaio 2015 durante un seminario tenuto al Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse dell'Università di Napoli "...credo che dovremmo uscire, in qualche modo, dall'autoreferenziazione dell'accademia e credo che l'Università dovrebbe tornare a fare ricerca spendibile per beni comuni: l'ambiente, le georisorse rinnovabili ed altro ancora. E questo non significherebbe smettere di fare buona ricerca di base...".

Per interpretare e non dimenticare questo insegnamento l'OGRA, nella figura dell'attuale presidente in carica Nicola Labbrozzi, ha voluto rinnovare il premio di laurea ed è per proseguire nel solco tracciato da P. Scandone che il premio è stato assegnato a Michele FAILONI (Fig. 1) con l'ottima tesi di Laurea Magistrale in Geologia e Territorio (Università di Bologna) dal titolo: Analisi geologico-strutturale delle Unità Epiliguri nella zona tra Rosola e Rocca di Roffeno (Appennino Settentrionale): implicazioni idrogeologiche.



Fig. 1 - Un momento della premiazione di M. Failoni (a sinistra) da parte del presidente in carica dell'OGRA Nicola Labbrozzi.



Studenti e Paolo Scandone in escursione a Pizzo Cefalone (Catena del Gran Sasso - Abruzzo) anno 2006.

Il programma della giornata (Comitato organizzatore: S. AGOSTINI, G. BOSCAINO, F. BROZZETTI, G. CATENACCI, D. DE ANGELIS, L. FINOCCHIO, N. LABBROZZI, E. PATACCA, S. RUSI - Segreteria organizzativa OGRA: O. MASIELLO), aperta a studenti, professionisti e ricercatori includeva, oltre alla relazione del vincitore del premio di laurea, i contributi di:

#### **Graziano CATENACCI**

Paolo Scandone: dall'Università di Pisa all'Ordine dei Geologi della Regione Abruzzo

#### **Uberto CRESCENTI**

Università degli Studi "G. d'Annunzio" Chieti  
Il ricordo di Paolo Scandone attraverso gli studi sull'Appennino

#### **Rodolfo CAROSI**

Università degli Studi di Torino, Presidente SGI  
Geologia attraverso generazioni diverse: dai boomers alla generazione Z

#### **Francesco BROZZETTI, Giusy LAVECCHIA**

Università degli Studi "G. d'Annunzio" Chieti  
Dalla geologia di terreno all'analisi dei campi di stress: vincoli per gli stili strutturali e per la tettonica regionale

#### **Carlos VENTURINI**

Prospex Energy Plc Londra  
Dagli Appennini alle Ande, imparando la geologia con Paolo Scandone

#### **Domenico COSENTINO**

Università di Roma Tre  
Paolo Scandone: figura di riferimento per la geologia di terreno e la ricerca di base

#### **Pio Di MANNA**

ISPRA, Istituto superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale  
Integrazione dei dati geologici per l'analisi della pericolosità a supporto delle strategie di mitigazione del rischio: ricordo di Paolo Scandone

#### **Sonia PAGLIARO**

Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale  
Pianificazione dell'Autorità di Bacino, contributo della geologia di base e ruolo del geologo: gli insegnamenti del Prof. Paolo Scandone nella personale esperienza professionale

#### **Francesco FIERA** GEOENERGIZERS

*L'utilizzo della sismica a riflessione nell'attività professionale del geologo*

#### **Emilio PISTILLI**

GEOPROGETTI-Studio associato  
*I vincoli della geologia nella raccolta dati: una metodologia di lavoro dall'Università al mondo della professione*

#### **Mario ARIANO<sup>1</sup>, Pier Lorenzo FANTOZZI<sup>1</sup>, Etta PATACCA<sup>2</sup>**

1 - Università di Siena; 2 - Università di Pisa  
*"Structural Model of Italy" dalla rappresentazione cartacea a quella digitale. La realizzazione del database spaziale del Modello Strutturale d'Italia ideata da Paolo Scandone*

Sull'evento alcune riflessioni del vincitore del premio:  
"...ciò che è emerso nel corso della giornata è stato, da parte dei relatori, lo spirito scientifico, la passione nel trattare gli argomenti, la capacità di affrontare le tematiche in maniera multidisciplinare, senza accontentarsi di risultati approssimativi, ma indagando a fondo, osservando tutte le sfaccettature che la geologia come scienza complessa presenta.  
Dalle parole dei relatori si è potuto constatare il peso e l'influenza che l'incontro con Paolo Scandone ha avuto nelle loro vite, incontro che li ha segnati non solo dal punto di vista accademico e professionale, ma anche dal punto di vista umano, un aspetto che talvolta rimane in ombra quando si parla di figure che hanno lasciato un segno così importante nelle Scienze.  
Nonostante non abbia avuto il piacere di incontrare Paolo Scandone nel corso dei miei studi, se non attraverso la lettura dei suoi fondamentali lavori sull'Appennino, a fine giornata ho lasciato l'aula Galileo con l'impressione di averlo in parte conosciuto attraverso il profondo lascito scientifico ed umano emerso dalle voci di chi lo ha incontrato nel suo percorso. Sono certo che così è stato anche per i giovani studenti e studentesse presenti in sala che solo ora hanno iniziato il loro percorso di studio nelle Scienze Geologiche".

# LA DIVISIONE DEI-PanGEA e la Giornata Internazionale delle Donne e delle Ragazze nella Scienza

**A**nche quest'anno la Divisione DEI-PanGEA della SGI ha organizzato il proprio *Workshop* annuale, il quarto, in occasione della Giornata Internazionale delle Donne e delle Ragazze nella Scienza, l'11 Febbraio 2025. L'evento, in sinergia con il Convegno annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, è stato ospitato dall'Università di Bologna, in convenzione e con il patrocinio del Consiglio Nazionale dei Geologi. Dopo i saluti di apertura da parte di Cristina Demaria, Delegata EDI del Rettore dell'Università di Bologna, Arcangelo Francesco Violo, Presidente del Consiglio Nazionale dei Geologi, e Giuliana Rossi, Presidente del

Comitato tecnico-scientifico del GNGTS, si sono susseguiti interventi di diversi contenuti, con una prima parte dedicata alle attività scientifiche e di ricerca, e una seconda centrata sulla libera professione.

Lucia Marinangeli, dell'Università di Chieti "Gabriele D'Annunzio", ha iniziato parlando dell'esplorazione dei pianeti e del ruolo delle geologhe in questo ambito, sia a livello nazionale, sia internazionale. È emerso l'importante contributo delle donne, specie nelle discipline minero-petrografiche, mentre, come retaggio delle consuetudini del passato nella geologia terrestre, si riscontra una prevalenza di uomini in ambiti come la cartografia. Successivamente, Claudia Agnini, dell'Università di Padova, vincitrice del Premio Marianna Panciatichi Ximenes d'Aragona della SGI per il 2024, ha sviluppato il tema "Donne e Geoscienze", con uno stato dell'arte sui percorsi nella carriera accademica italiana e sulle sfide per il futuro. È emerso quanto ancora ci sia da

lavorare su questo tema, e ciò rafforza il valore di comunità per la nostra Divisione.

Un momento particolarmente coinvolgente è stato il dialogo di Chiara Amadori e Paola Vannucchi con Enrico Bonatti, che ha raccontato l'evoluzione dell'attività di ricerca delle geoscientiste sulle navi oceanografiche, con l'avvincente storia di Elena Lubimova, geofisica sovietica e prima donna a salire, nel 1963, su una nave oceanografica statunitense (Bonatti & Crane, 2012; Fig. 1). Dell'esperienza in nave oggi, e delle campagne oceanografiche condotte da un gruppo di ricercatrici dell'ISMAR-CNR, ci hanno poi parlato Filomena Loreto e Camilla Palmiotto, che con altre colleghe hanno organizzato e condotto missioni in nave in *team* completamente al femminile.

Passando dal mondo della ricerca scientifica a quello della libera professione, abbiamo potuto ascoltare l'esperienza di *leadership* al femminile di alcune geologhe ai vertici di ordini professionali, quali Giovanna Amedei e Federica Ravasi, Presidenti degli Ordini dei Geologi della Puglia e della Lombardia, e Maria Teresa De Nardo, Vice Presidente dell'Ordine dei Geologi dell'Emilia Romagna.

Infine, Alessandra Biserna, consigliera del Consiglio Nazionale dei Geologi, ha riportato i dati più recenti sul mercato professionale dei geologi, con un'analisi del divario di genere e delle prospettive future. La discussione che ne è seguita ha posto l'attenzione su come le criticità relative alla mancanza di opportunità per le geologhe si innestino nella crisi più generale di mancanza di iscrizioni ai corsi di geologia e alla diminuzione del numero complessivo di geologi, sia liberi professionisti sia dipendenti pubblici, a fronte di prospettive di lavoro invece caratterizzate da molte potenzialità. Un'ultima considerazione riguarda il fatto che il Consiglio Nazionale dei Geologi, quest'anno, abbia voluto riconoscere crediti formativi connessi alla partecipazione al *Workshop*: è sicuramente di rilievo il fatto che i temi di interesse della Divisione DEI-PanGEA siano inclusi nella formazione professionale dei geologi.



Fig. 1 - Locandina dell'evento e foto di Elena Lubimova (sulla sinistra) e Marie Tharp (sulla destra).

## Bibliografia:

Bonatti E. & Crane K. (2012). *Oceanography and women: Early challenges*. *Oceanography* 25(4):32-39. <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2012.103>.

<https://tos.org/oceanography/article/oceanography-and-women-early-challenges>

# NUNTIUM

## de Lapidibus

**Autore** Massimo Coli

Dipartimento di Scienze della Terra. Università di Firenze.

### *Heritage stones, Building stones and Stone buildings news*

#### Terre di confine

In questi ultimi tempi sono all'ordine del giorno notizie sempre tristi ed allarmanti relative alle guerre endemiche del martoriato Medio Oriente; posti che ho avuto il piacere di conoscere e studiare alcuni anni fa in un periodo di pace. Questi studi, fatti in collaborazione con il collega Luigi Marino del Dipartimento di Architettura, sezione Restauro, e più che altro con il supporto del *Biblicum Franciscanum Studiorum* di Gerusalemme (dal 1118 i Francescani, per accordo diretto tra San Francesco ed il Sultano, hanno la custodia dei Luoghi Santi delle tre grandi religioni monoteiste), nella persona di Padre Michele Piccirillo, hanno in particolare riguardato il *Limes Arabicus*, per definirne materiali, strutture e conservazione.

Il *Limes Arabicus* nasce nel II secolo quando, dopo le grandi conquiste di Traiano, i Romani, a differenza di quanto fatto in Bretagna con il Vallo di Adriano ed in Germania con il Vallo Renano, riorganizzarono i confini orientali come una frontiera diffusa a difesa progressiva contro le incursioni arabe e partiche, articolandolo in profondità con Campi Legionari, *Castellum* presidiati da coorti ausiliarie e *Quadriburgum* presidiati da cavalleria ausiliaria (Fig. 1).

Nel suo sviluppo il *Limes Arabicus* attraversa diverse realtà geologiche, che da Sud a Nord fanno riferimento essenzialmente a:

Successioni carbonatiche paraliche, di rampa, di piattaforma interna e con vari episodi di emersione e croste ferruginose, di età Cretacico-Eocene, nell'area Israele-Giordana e del deserto di Palmira. Effusioni basaltiche Mio-Plioceniche legate alla Rift del Mar Morto nell'altopiano dell'Hawrān, nell'area Giordano-Siriana. Depositi evaporitici delle depressioni endoreiche nel Nord della Siria. Sedimenti alluvionali fini nella Mesopotamia Settentrionale, al confine tra Siria ed Iraq.

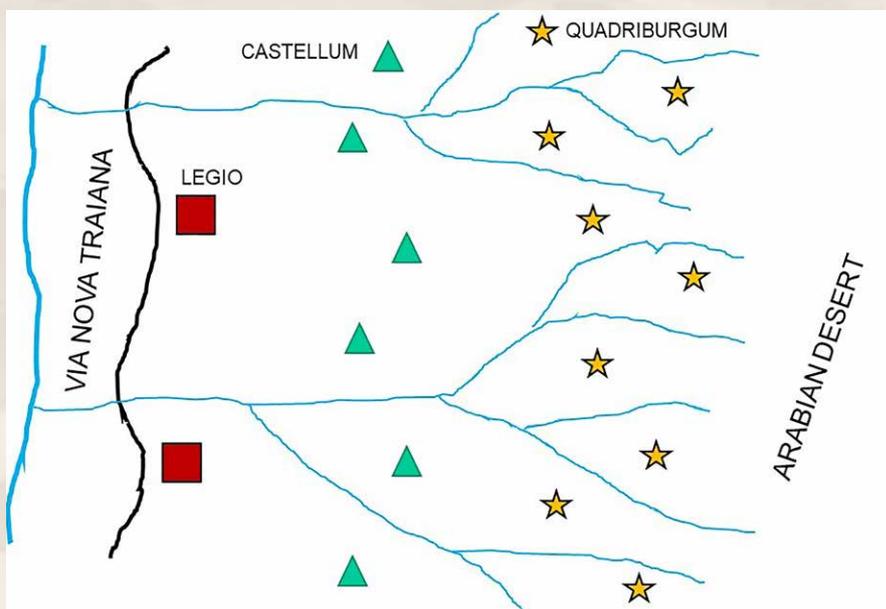


Fig. 1 - Schema dell'organizzazione del *Limes Arabicus* (elaborazione M. Coli).



Fig. 2 - Qsar Bashir, Giordania, carpenteria litica in calcari organogeni di piattaforma carbonatica (fotografia M. Coli).



**Fig. 3** - Halabiyah, Siria, portale in conci di gesso accuratamente sagomati ad arco e a piattabanda, con evidenti dissesti da terremoto (fotografia M. Coli).

Ad ognuna di queste realtà geologiche, tutte in ambiente desertico e quindi senza disponibilità di legname, corrispondono materiali litoidi diversi usati nella costruzione dei Campi Legionari, Castellum e Quadriburgum.

Nelle aree carbonatiche e basaltiche il materiale litoide necessario veniva raccolto in “cave atipiche”, cioè raccogliendo il regolite dal suolo o dagli scavi per la realizzazione di cisterne per l’acqua ed usato con una minima lavorazione alla bisogna in splendidi esempi di “carpenteria litica” (vedi *Geologicamente*, 2022/9, 79-80) (**Fig. 2**); l’apertura di cave vere e proprie non è mai stata rilevata.

Nelle aree delle depressioni endoreiche l’unico materiale litoide disponibile è costituito da estesi depositi di evaporiti, essenzialmente gesso. Questo gesso è stato cavato in vere e proprie cave ed usato in conci di misure romane standard nella costruzione di mura, torri, edifici. L’ambiente desertico, e l’abbandono dopo la conquista araba dell’area, ha consentito a queste costruzioni di arrivare praticamente intatte fino ai giorni nostri; gli unici e pochi danni sono dovuti a terremoti (**Fig. 3**). Nell’area più orientale a sedimenti alluvionali le costruzioni venivano invece realizzate in adobe (*Geologicamente*,



**Fig. 4** - Dura Europos, Siria, una delle porte della cinta Romana (fotografia M. Coli).

2024/14, 81-82); la loro durabilità nel tempo è risultata molto precaria e solo pochi resti sono oggi visibili.

Nel complesso siamo in presenza di molti saperi: ottima conoscenza del territorio e dei materiali, loro uso al meglio in un contesto di forniture praticamente a km 0,

messa in opera accurata e rifinita.

Ma tutta la Siria Greco-Romana è piena di esempi eclatanti di litocostruito con uso al meglio dei materiali locali, casomai ne parleremo in occasioni future.

Grazie, ed alla prossima.

# INCONTRA *gli Autori*

## 1. ALESSIO ARGENTIERI

Nato a Roma nel 1967, geologo e dottore di ricerca in Tettonica e Geologia strutturale, è dirigente di ruolo della Città metropolitana di Roma Capitale. Membro della Società Geologica Italiana dal 1994, ne è Consigliere per il triennio 2024-26; è stato cofondatore, coordinatore e segretario della Sezione di Storia delle Geoscienze. Dal 2021 è iscritto alla Società Italiana di Storia della Scienza. Ha all'attivo circa 90 pubblicazioni scientifiche su temi di geologia strutturale, geologia tecnica e ambientale e di storia della scienza, edite su riviste nazionali, internazionali e volumi speciali. Dal 2014 scrive per [www.attualita.it](http://www.attualita.it) su temi di cronaca sportiva, spettacolo e divulgazione scientifica; collabora dal 2015 anche con Allrugby, la rivista italiana del rugby.



## 2. ENRICO CAMERON

Enrico Cameron è un geologo libero professionista, insegnante di matematica e scienze e ricercatore indipendente. Laureato in Geologia presso l'Università di Pavia, ha conseguito un dottorato di ricerca con un focus sull'applicazione del *machine learning* e delle reti di decisione basate su probabilità per l'analisi e la gestione del rischio di contaminazione delle acque sotterranee. Attualmente coordina la sezione di Geoetica e Cultura Geologica della Società Geologica Italiana, il capitolo italiano dell'*International Association for Promoting Geoethics* (IAPG). I suoi lavori pubblicati su riviste internazionali trattano temi di idrogeologia, patrimonio geologico, analisi del rischio e geoetica.



## 3. IRENE MARIA BOLLATI

Si occupa di ricerca e didattica nel campo della Geografia fisica e della Geomorfologia. Studia l'evoluzione del paesaggio geografico-fisico e dei siti del patrimonio geologico-geomorfologico, con attenzione alle zone di recente deglaciazione, applicando tecniche cartografiche, fotogrammetriche e dendrogeomorfologiche. I prodotti della ricerca vengono anche adattati per la divulgazione e la didattica delle Scienze della Terra. È autrice di pubblicazioni scientifiche e membro di associazioni scientifiche come AIGeo (Associazione Italiana di Geografia fisica e Geomorfologia), di cui è Segretario generale, e ProGEO (*International Association for the protection of the geological heritage*), di cui è referente nazionale italiano. È *principal investigator* del Progetto UNESCO IGCP 714.



## 4. ANTONELLO PROVENZALE

Dirigente di Ricerca CNR e membro del Consiglio Scientifico della Fondazione di Ricerca CIMA. Direttore dell'Istituto di Geoscienze e Georisorse del CNR dal 2015 al 2024. Socio corrispondente dell'Accademia delle Scienze di Torino e dell'Accademia di Scienze e Lettere dell'Istituto Lombardo. Si occupa di dinamica dei fluidi geofisici, impatti dei cambiamenti climatici e ambientali su ciclo idrologico e incendi, interazioni geosfera-biosfera. Golden Badge Award della European Geophysical Society, è stato ricercatore invitato presso l'Ecole Normale Supérieure di Parigi, l'Università Ben Gurion, l'Università del Colorado a Boulder. Coordinatore di progetti di ricerca nazionali e internazionali, è autore di più di 180 pubblicazioni scientifiche e di articoli e libri divulgativi.





# MEMORIE DAL SOTTOSUOLO: *la miniera di Montecatini Val di Cecina*

## Maggiori informazioni

Località La Miniera, Montecatini Val di Cecina

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

Sfondo foto: veduta della miniera (autore: Francesco Levy).

**L**a miniera di rame di Caporciano (**Fig. 1**) situata nel cuore della Toscana e più precisamente nel Comune di Montecatini Val di Cecina in provincia di Pisa, rappresenta uno dei capitoli più affascinanti della storia mineraria italiana.

È qui, nel sotterraneo di questi luoghi che, prendendo in prestito le parole del famoso geografo Jacopo Graber da Hemso in visita alla miniera nel 1847, “la natura con artificio mirabile, occultissima ammassa, fonde, lavora e perfeziona i più ricchi e preziosi metalli.” (Graber da Hemso, 1847).

La sua evoluzione dall'epoca etrusca fino alla nascita della Montecatini industrie ci offre una visione completa sulle trasformazioni tecnologiche e sociali che hanno caratterizzato l'industria mineraria. Nella sua storia si trova scritto che le prime notizie documentate sullo sfruttamento cuprifero di questa zona risalgono al 1469 ma sicuramente è certo che le prime vere attività di ricerca del rame a livello imprenditoriale furono iniziate nel 1827 da una piccola società formata da Luigi Porte ex direttore delle miniere di Montioni (vicino a Suvereto, in provincia di Livorno) e da due soci finanziatori, Giacomo Leblanc e Sebastiano Kleber che decisero insieme

di riattivare l'estrazione a Montecatini. Estrazione che grazie alla qualità del materiale trovato, fece rapidamente guadagnare alla miniera importanza, attirando così l'attenzione di investitori e tecnici specializzati. I minerali che si ricavano da questa miniera erano tre solfuri di rame conosciuti come da descrizione dei materiali estratti fatta dall'Ingegnere Aroldo Schneider nel 1890, come calcopirite, erubescite e calcosina. Nel 1836 la società “fondatrice” si sciolse ed al loro posto subentrarono i fratelli Alfredo ed Orazio Hall (eredi di Kleber), l'italo inglese Giuseppe Sloane e Pietro Coppi. Fu proprio in questi anni fra il 1837 ed il 1880 che la miniera raggiunse la sua forma massima di ampliamento e redditività. La maggiore forza economica della subentrata proprietà fece sì che in pochi anni le profondità e le lunghezze di scavo venissero raddoppiate, aumentando parallelamente la capacità dei ritrovamenti. Nel 1855 venne poi inaugurato pozzo Alfredo (**Fig. 2**), pozzo che prende il nome da Alfredo Hall, uno dei proprietari, con i suoi mastelli da estrazione alimentati da una macchina a vapore, (fino ad allora si usavano burbere o macchine a trazione animale) che ben presto divenne simbolo della miniera e della sua capacità di rinnovarsi continuamente.

Qualche mese dopo, il 31 Dicembre del 1856 vide la luce il più importante orizzonte sotterraneo che metteva in comunicazione a 160 metri di profondità il centro della miniera con la località della Macinaia situata a 1450 metri di distanza, creando così quella che poi sarebbe divenuta la spina dorsale della miniera e permettendo soprattutto alle sorgenti di acqua presenti nel sottosuolo, di essere convogliate ed avere un'unica e controllata via di uscita.

Della nuova e forte ondata di rinnovamento tecnologico ne beneficiarono anche i locali esterni dove si faceva il lavaggio, spaccatura e scelta del materiale estratto per poi destinarlo alla vendita.

Spariscono così i "lavatoi" e nascono i nuovi locali delle "laverie" parzialmente meccanizzate, impianti dove i minerali, attraverso un processo di frantumazione, macinazione e lavaggio, venivano separati dalla parte sterile o di scarto, rendendo il processo molto più produttivo e remunerativo.

Erano quelli gli anni in cui la miniera raggiunse il suo apice produttivo diventando una delle principali fonti di rame in Europa. Questo periodo vide anche un aumento significativo della forza di lavoro con centinaia di minatori impiegati nelle gallerie sotterranee permettendo alla miniera di raggiungere la profondità di 315 metri su 11 livelli e con uno scavato che raggiungeva nel complessivo i 44 km fra gallerie, pozzi e discenderie (Fig. 3). Di pari passo la comunità mineraria di Montecatini si sviluppò intorno alla miniera, creando un tessuto sociale unico caratterizzato dalla solidarietà e collaborazione.

Sicuramente il lavoro in miniera era malpagato e soprattutto pericoloso, dato che si svolgeva in condizioni difficili e in ambienti ostili alla salute umana (Fig. 4), ma certo era, che se non riuscivi a trovare occupazione alla miniera, la vita nel paese poteva essere veramente dura. Nel 1888 - dopo qualche altro passaggio di proprietà - la miniera di Montecatini divenne il nucleo della nascente Società Montecatini, segnando l'inizio di una nuova ed importante era per l'industria mineraria e chimica italiana. L'integrazione delle attività dell'estrazione alla chimica permise alla Montecatini di diventare uno dei colossi industriali italiani, dando vita poi negli anni 60 del 900 al colosso Montedison. Ma questa è un'altra storia, altrettanto importante come quella appena raccontata e merita sicuramente una narrazione a sé.

Oggi il paese di Montecatini Val di Cecina continua ad essere un gioiello incastonato nelle sue colline, offrendo ai suoi visitatori una combinazione affascinante fra storia, cultura e bellezze naturali. Il sito della miniera si è trasformato in un museo, aperto tutto l'anno dove si può visitare il pozzo Alfredo che rimane ancora oggi uno degli impianti meglio conservati in Europa, esplorare vecchie gallerie, le sue officine ma soprattutto conoscere le tecniche di estrazione e le storie dei minatori che qui hanno lavorato, fondendo la loro vita con il ventre della montagna.

## BIBLIOGRAFIA

Jacopo Graberg da Hemso (2004). *Cenni storici iponomici e statistici sulla miniera di rame detta la cava di Caporciano*. Firenze: Tipografia Galileiana.

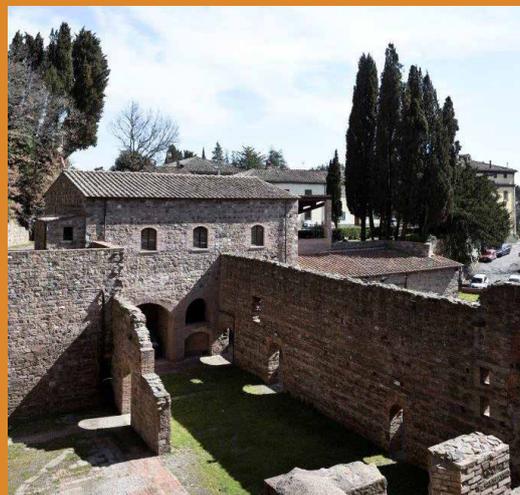


Fig. 1 - Veduta della miniera (autore: Francesco Levy).



Fig. 2 - Particolare pozzo Alfredo (autore: Francesco Levy).



Fig. 3 - Resti della falegnameria accanto al pozzo Alfredo.

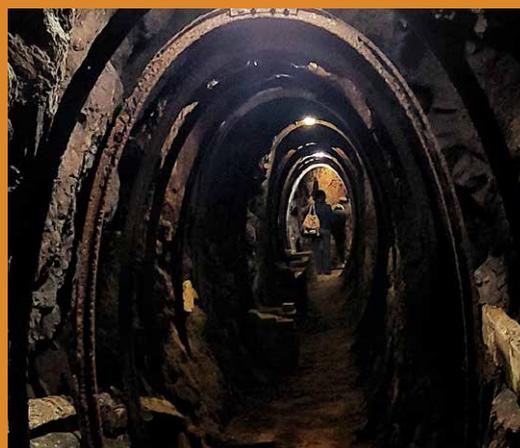


Fig. 4 - Particolare gallerie (autore: Francesco Levy).



**+** 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](http://keller-pressure.com)

