

# IGAG Days

21-23 giugno 2023  
Varenna (LC) e Caspoggio (SO)

Quarto Workshop dell'Istituto di  
Geologia Ambientale e Geoingegneria

**ABSTRACT BOOK**



# IGAG Days

## COMITATO ORGANIZZATORE

Aldighieri Barbara  
Conti Alessia  
Conticelli Sandro  
Di Capua Andrea  
Ficini Eleonora  
Groppelli Gianluca  
Milia Stefano  
Pini Roberta  
Radaeff Giuditta  
Sanna Laura  
Trapasso Francesca

Il Centenario del CNR è realizzato con il contributo della  
Presidenza del Consiglio dei Ministri e con il Patrocinio di Rai

PRESIDENZA DEL CONSIGLIO  
DEI MINISTRI

Struttura di gestione anniversari nazionali  
ed eventi sportivi nazionali e internazionali



Rai

Il workshop è sotto l'egida del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e finanziato nell'ambito del progetto  
FOE 2020 – Capitale Naturale (resp. Prof. Sandro Conticelli)

## INDICE

### Invited Speaker

<b>Poli S.</b> – Ca-carbonatite mantle metasomatism and kimberlite-like melt ascent in the Andean Northern Volcanic Zone (Colombia) .....	6
<b>Piccin A.</b> - Il progetto di cartografia geologica (CARG) in Lombardia: stato dell'arte e prospettive .....	7
<b>Bonomi T.</b> - Acque superficiali e sotterranee connesse tra loro: una georisorsa preziosa ...	9
<b>Grieco G.</b> - Triggering critical raw materials mining in Italy: a circular economy and environmental challenge .....	11
<b>Cavallo A.</b> - Recupero innovativo degli scarti del Serpentino della Valmalenco: proposte in un'ottica di economia circolare .....	12
<b>Hin R.</b> - Planetary growth changes .....	13

### Sessione orale

<b>Scrocca D., Alimonti C.</b> - Hydrocarbon wells potentially suitable for geothermal repurposing in Italy: a first assessment .....	17
<b>Di Salvo C., Conte A.M., De Donno G., Perinelli C., Rotonda T., Tommasi P.</b> - Caratterizzazione geologica, mineropetrografica, geotecnica e geofisica in aree archeologiche ipogee: la necropoli di Madonna dell'Olivio a Tuscania .....	19
<b>Sanna L.</b> - Geocosystem services of Italian show caves: a hidden geoheritage in the karst critical zone .....	20

### Sessione Poster

<b>Abdrahamane Yassine A., Parth S., Weinstein-Evron M., Mazzini I., Waldmann N.</b> - The impact of precipitation and temperature shifts on the Levant during the Late Pleistocene: assessment from biological and geochemical indicators from Lake Hula .....	23
<b>Aldighieri B., Burlando M., Foggi B., GropPELLI G., Malara F., Testa B.</b> - Carta Geoturistica dell'Isola di Capraia. Itinerari via mare .....	24
<b>Bortolussi A., Cappai G., Cara S., Guglietta D., Masala O., Matzuzzi C., Milia S., Sanna L., Scotti A., Trapasso F., Ubaldini S.</b> - REcupero di MAterie prime dai residui da attività estrattiva in SARdegna: il progetto REMASAR .....	25
<b>Ciotoli G., Mori F., Ruggiero L., Varone C., Moscatelli M., Nisio S.</b> - Sinkhole susceptibility map of Italy by machine learning algorithm .....	27
<b>Di Capua A., Barilaro F., GropPELLI G.</b> - Volcanism and sedimentation in the peripheral Alpine basins: where we are and where we are going to .....	29
<b>Ficini E., Cuffaro M., Gerya T., Doglioni C.</b> - Role of variable plate kinematics history in the back-arc deformation regime along the western Pacific margin (Japan Sea) .....	30
<b>Gaudiosi I., Moscatelli M., Stigliano F., Mancini M., Ariano M., Giuffrè M., Mori F., Pennica F., Peronace E., Simionato M., Versino F., Argiolas F., Polpetta F., De Angelis M.</b> - Il contributo del CNR-IGAG nel Progetto CALIGOLA: Caratterizzazione degli Ammassi Litoidi e degli ambienti IpoGei attraverso la valutazione delle caratteristiche di Oscillazione e dell'interazione con i manufatti Lapidei del Criptoportico Centrale	

del colle Palatino .....	31
<b>Gencarelli C., Hammouti M., Yazdani M., Biondi R., Molinari D., Salvati P., Sterlacchini S., Voltolina D., Zazzeri M.</b> - Analisi dati nelle Geoscienze mediante classificazione guidata da Machine Learning .....	33
<b>Guglietta D., Tempesta E., Gozzi M., Versino F., Paciucci M., Ubaldini S., Conte A.M., Rosselli S.</b> - Spazio interattivo per le SCUOLE: l'Economia Circolare dalla Preistoria al Futuro .....	34
<b>Guglietta D., Wafik A., Conte A.M., Abdelali F., Marrocchino E., Paciucci M., Punturo R., Rosselli S., Salvatori R., Ait Touchnt A., Youssef D., Senesi G.S., Salzano R., Vaccaro C.</b> - Mining waste characterization for optimised management by multidisciplinary approach: first results and future developments .....	36
<b>Livani M., Petracchini L., Benetatos C., Marzano F., Billi A., Carminati E., Doglioni C., Petricca P., Maffucci R., Codegone G., Rocca V., Verga F., Antoncecchi I.</b> - Subsurface geological and geophysical data from the Po Plain and the northern Adriatic Sea (North Italy) .....	37
<b>Mendicelli A., Mori F., Ciotoli G., Varone C., Moscatelli M.</b> - Classificazione del territorio per l'analisi degli effetti sismici di sito e della franosità sismo-indotta .....	38
<b>Mori F., Mendicelli A., Acunzo G., Varone C., Bocchi F., Spina D., Naso G., Ciotoli G., Stigliano F., Moscatelli M.</b> - SEARCH (Seismic Emergency Assessment and Response Computing Hub) .....	39
<b>Norini G., Caielli G., de Franco R., Gropelli G., Tirabassi L., Botto M., Silva-Fragoso M., Pedrazzi T., Coviello V.</b> - Rilievi LiDAR da drone per cartografia geologica, studio di deformazioni attive e recenti di origine tettonica e vulcano-tettonica, analisi dell'instabilità di versante e geoarcheologia .....	40
<b>Parisi R., Mazzini I., Cronin T.M.</b> - Glaciali ed interglaciali degli ultimi 240ka nel golfo di Corinto (Grecia) attraverso lo studio degli ostracodi bentonici dei sondaggi IODP (Exp. 381 M0078 e M0080) .....	42
<b>Pietrosante A., Artegiani F., Fagioli G., Giaccio B., Mazzini I., Monaco L., Putignano M.L., Toccaceli R.</b> - Progetto CARG "Mondragone" e "Caserta Ovest": Ricostruzione dell'assetto stratigrafico del sottosuolo della Piana del Volturno .....	43
<b>Rusconi D., Caielli G., Norini G., de Franco R. e Gruppo di Lavoro CARG Brescia</b> - Study and analysis of geophysical and geological data for the reconstruction of surface structures in the Brescia basin .....	45
<b>Tentori D., Coltella M., Mancini M., Pacitti P., Polpetta F., Stigliano F., Varone C.</b> - Approcci integrati per lo studio della liquefazione in aree costiere: applicazioni alla microzonazione sismica .....	47
<b>Ubaldini S., Guglietta D., Silvani V., Milia S., Castaño Gañán A.R., Cappai G., Colombo R.P., Trapasso F., Salvatori R., Godeas A., Scotti A.</b> - Approccio multidisciplinare integrato per l'individuazione ed il recupero di materie prime da rifiuti minerari mediante telerilevamento .....	48



# IGAG Days

Invited speaker



## Ca-carbonatite mantle metasomatism and kimberlite-like melt ascent in the Andean Northern Volcanic Zone (Colombia)

Fabio Ferri<sup>1</sup>, Stefano Poli<sup>2</sup>, Marco Scambelluri<sup>3</sup>, Michele Rinaldi<sup>4</sup>,  
 Andrés Ignacio Rodríguez Vargas<sup>5</sup>, Carlotta Ferrando<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Università degli Studi di Padova

<sup>2</sup>Università degli Studi di Milano

<sup>3</sup>Università di Genova

<sup>4</sup>University of St. Andrews, UK

<sup>5</sup>Minerlab Limitada, Bogotá, Colombia

Crustal foundering and relamination in arcs are regarded as mechanisms to explain mass balance at continental roots and geochemical features of the crust, on timescales of  $10^6 - 10^7$  years. Conversely, metasomatism from the subducted slab, partial melting, and magma ascent can occur over very short timescales, sometimes lasting as little as  $10^{-3}$ - $10^{-4}$  years, i.e. a matter of hours. The lithological evidence of such processes is rare and spatially decoupled. At Mercaderes - Rio Mayo volcanic area, Northern Volcanic Zone (Colombia), an extraordinarily variable suite of high pressure, crustal and mantle xenoliths, from garnet pyroxenites to garnet peridotites, was erupted sampling the entire lithosphere-asthenosphere column below the Andean arc. Here we show that a subset of garnet pyroxenites, equilibrated at  $\approx 1250$  °C and 3.7 GPa, experienced abundant growth of aragonite, dolomite and calcite, leading to hybrid ultramafic bulk compositions containing up to 30 wt% CaO, at Mg# 91. Microstructural analysis reveals the occurrence of two distinct stages of carbonate precipitation. During the first stage, aragonite is stable alongside garnet and clinopyroxene, while orthopyroxene is replaced by Mg-calcite. The second stage results in heavily zoned dolomites and calcites, similar to those observed in some kimberlitic magmas. The silicate-carbonate phase relationships suggest that the carbonate precipitation resulted from a reaction with a Ca-rich carbonatitic liquid along a decompression path of a rising magmatic column. It is believed that  $\text{CO}_2$  exsolution in the liquid, facilitated by orthopyroxene dissolution, contributed to the engagement of xenoliths, as observed in kimberlites. The C-O isotopic composition of carbonates reveals that the geochemical signature of mantle wedge metasomatism is governed by subducted organic carbon. During the ascent process, a suite of intermediate and mafic arclogites that had foundered to pressures exceeding 2 GPa was sampled. However, arclogites and shallower gneisses did not exhibit carbonate metasomatism, implying that the transporting magma was primarily silicate at crustal depths, consistent with the progressive dilution of the carbonatitic component. The diversity of xenolith compositions, the presence of carbonates in websterites, and the microstructural characteristics of calcite-dolomite solid solutions can be best explained by a burst of magma ascending through a sub-arc mantle channel, similar to the earthquake swarms detected in the upper mantle beneath the Mariana and Izu-Bonin arcs. We advocate that arc root foundering and fluid-driven upward propagation of fractures contributing to volcanic activity coexist in the wedge dynamics but operate on different time scales.

## Il progetto di cartografia geologica (CARG) in Lombardia: stato dell'arte e prospettive

Andrea Piccin

Regione Lombardia – DG Territorio e Sistemi Verdi

Il Progetto CARG in Regione Lombardia è stato concretamente avviato nel 1996, nell'ambito dei finanziamenti statali di cui alle Leggi n. 67/1988 e 305/1989, a seguito dell'assunzione per concorso pubblico di 10 geologi rilevatori, inquadrati nell'allora Servizio Geologico regionale diretto da Michele Presbitero. I primi 10 Fogli alla scala 1:50.000, realizzati a partire da rilevamenti originali alla scala 1:10.000 e in convenzione con il Servizio Geologico Nazionale, le Università di Milano e Pavia e il CNR-IDPA di Milano, sono stati: 56 Sondrio, 57 Malonno, 76 Lecco, 77 Clusone, 78 Breno, 97 Vimercate e 98 Bergamo (Università di Milano); 99 Iseo (Università di Pavia); 24 Bormio e 41 Ponte di Legno (CNR – IDPA). A questi sono seguiti, con i fondi della L. 226/1999 ulteriori 4 Fogli: 79 Bagolino (con Provincia Autonoma di Trento e Università di Bologna); 96 Seregno (Università di Milano); 118 Milano (Politecnico di Milano); 178 Voghera (Università di Pavia). Regione Lombardia ha cofinanziato il progetto in modo significativo (quasi al 50%) in particolare per strutturare ed implementare un Sistema Informativo Geologico, il nucleo da cui si è poi sviluppato il Sistema Informativo Territoriale regionale, rendendo direttamente fruibili da parte dei tecnici e dei professionisti i dati geologici rilevati alla scala 1:10.000, estesamente utilizzati per redarre la "componente geologica, idrogeologica e sismica" dei Piani di Governo del Territorio comunali, prevista dall'allora innovativo Art. 57 della legge regionale 12/2005 per il Governo del Territorio. Al primo nucleo di geologi rilevatori regionali si è nel tempo aggiunto un nutrito gruppo di geologi professionisti, specializzati in rilevamento geologico e coordinati dal punto di vista scientifico dagli Enti di Ricerca convenzionati. Questa attività, proseguita fino al 2004, con una coda fino al 2010 per la stampa degli ultimi Fogli, ha permesso di coprire circa un terzo del territorio regionale.

Purtroppo, l'interruzione dei finanziamenti statali per quasi un ventennio non ha consentito di mantenere attive su questo fronte le professionalità che erano cresciute attorno al CARG Lombardia, anche se l'esperienza fatta, sia a livello regionale che universitario e professionale, ha sicuramente portato un grande contributo alla conoscenza del territorio e alla prevenzione del rischio idrogeologico in una Regione fragile come la Lombardia.

Nel 2020 sono ripresi i finanziamenti statali dedicati al completamento del Progetto di Cartografia Geologica Nazionale, con le Leggi 160/2019 e 178/2020. Il Servizio Geologico d'Italia, ora incardinato nell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), ha avviato un piano di attività che, per la Lombardia, ha portato all'attivazione nel 2020 del Foglio 121 Brescia (in corso di realizzazione dal CNR-IGAG di Milano, in collaborazione con l'Università di Milano – Dipartimento di Scienze della Terra) e, nel 2021, del cluster di Fogli di confine con la Svizzera incentrati sulla Valchiavenna (21 Passo dello Spluga, 22 Madesimo, 37 Bodengo e 38 Chiavenna, anch'essi in corso di realizzazione da parte dell'Università degli Studi di Milano). La modalità di realizzazione è

sostanzialmente cambiata, con le attività tecnico-scientifiche e amministrative direttamente in capo agli Enti di Ricerca e un ruolo di Regione Lombardia sostanzialmente di promozione e coordinamento, anche per garantire continuità con il progetto precedente (Fig. 1).

Ulteriori finanziamenti, accordati ad ISPRA per il triennio 2023-2025 dalla L. 197/2022, hanno permesso di programmare ulteriori Fogli: è in corso di avvio il Foglio 160 Pavia, che verrà realizzato dall'Università di Pavia e, prossimamente, sarà avviato anche il Foglio 74 Varese, che verrà realizzato dall'Università dell'Insubria.

Con questi ultimi Fogli, insieme a quelli realizzati da altri Enti che hanno interessato porzioni più o meno estese a confine del territorio lombardo, si raggiungerà la copertura di circa il 55% del territorio regionale. Il cammino per il completamento del Progetto è quindi ancora lungo, ma se verrà garantita continuità dei finanziamenti sarà possibile proporre e realizzare ulteriori Fogli nei prossimi anni.

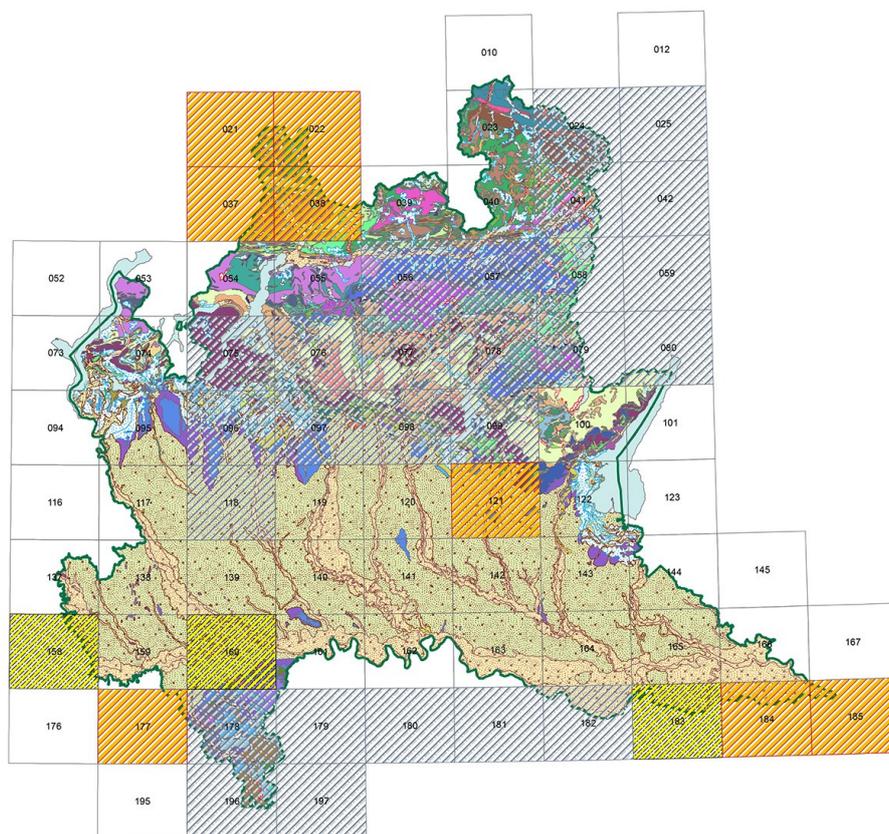


Figura 1: stato avanzamento del progetto CARG sul territorio lombardo.

## Acque superficiali e sotterranee connesse tra loro: una georisorsa preziosa

Tullia Bonomi, Letizia Fumagalli, Marco Rotiroti, Chiara Zanotti, Mariachiara Caschetto,  
Davide Sartirana, Agnese Redaelli, Barbara Leoni

Università Milano Bicocca, Milano

Le acque dolci superficiali, quali laghi, fiumi e fontanili, sono strettamente connesse con le acque sotterranee e costituiscono un unico sistema ambientale che riveste un ruolo strategico non solo per il sistema naturale ma anche per lo sviluppo socio-economico di un territorio, specialmente se fortemente antropizzato e con acque destinate a molteplici usi quali potabile, civile, industriale, agricolo, turistico, etc.

La qualità e quantità delle risorse idriche sono fortemente condizionate dalle attività antropiche ed è quindi necessario studiare sia le reciproche interazioni quantitative sia le dinamiche con cui le contaminazioni presenti nei diversi corpi idrici si influenzano vicendevolmente; a tale scopo, per una loro corretta ed efficace gestione, le risorse superficiali e sotterranee vanno considerate strettamente connesse tra loro, in un unico comparto ambientale.

L'approccio proposto dal gruppo di ricerca di Idrogeologia ambientale del DISAT è multidisciplinare e interdisciplinare, studiando ed integrando aspetti idrogeologici, idrogeochimici e idrodinamici del comparto idrico per arrivare a comprendere le dinamiche delle interazioni esistenti e/o avere conferma di quelle che, prima, erano solo ipotesi. Tale approccio risulta molto funzionale per una gestione più efficace e consapevole delle risorse idriche. I progetti di ricerca nei quali tale approccio è stato applicato sono stati coniugati con lo sviluppo di analisi statistica multivariata finalizzata a identificare le relazioni tra diverse variabili fisico-chimiche e diversi campioni d'acqua (da pozzo, lago, fiume e fontanile, Fig. 1a). La tecnica utilizzata è la Positive Matrix Factorization (PMF) (Fig. 1c); già molto utilizzata nel campo dell'inquinamento atmosferico da particolato è stata applicata anche in campo idrologico per risolvere l'identità e il contributo di diverse sorgenti su un campione.

Gli esempi proposti si riferiscono a porzioni del bacino del fiume Oglio sub lacuale, area fortemente antropizzata in cui lo sviluppo economico e sociale risulta essere fortemente correlato alla disponibilità e alla qualità della risorsa idrica sia superficiale che sotterranea. Quest'area ha infatti una vocazione prevalentemente agricola e la coltura principale è il mais, coltura molto idroesigente, dove l'alto fabbisogno d'acqua è soddisfatto da due principali sistemi di irrigazione: una fitta rete di canali irrigui alimentati da acque superficiali derivate dal fiume Oglio e una serie di pozzi irrigui che attingono ad acque sotterranee. Sono inoltre presenti, in quantità minori ma ugualmente importanti e significative, derivazioni superficiali e sotterranee a fini industriali (produzione idroelettrica, allevamento, ecc.) e derivazioni sotterranee a fini civili (approvvigionamento acqua potabile e domestica).

L'approccio proposto consente di:

- identificare il diverso comportamento di drenaggio o alimentazione del fiume nei confronti

della falda in zone diverse, e come queste zone non siano statiche nel tempo ma mutino in diversi periodi dell'anno (Fig. 1b);

- definire gli effetti positivi, in alta pianura, della distribuzione capillare delle acque irrigue, sia dal punto di vista qualitativo (diluizione dei nitrati) che quantitativo (ricarica della falda);
- evidenziare l'effetto di stress sugli acquiferi determinato dall'irrigazione da pozzo quando le criticità idriche riducono i quantitativi disponibili di acqua superficiale;
- identificare le diverse voci di ricarica al sistema sotterraneo, che possono subire differenti effetti connessi alle variazioni climatiche in corso;
- definire le diverse sorgenti di diversi composti inquinanti che caratterizzano l'area di studio, con arsenico nelle acque di bassa pianura di origine naturale e contaminazione da nitrati determinata da molteplici fonti antropiche nell'alta pianura;
- valutare la vulnerabilità delle captazioni nel quadro normativo dei Piani di Sicurezza dell'Acqua, al fine di valutare gli elementi di rischio legati alle captazioni, primo anello della catena di approvvigionamento delle acque potabili.

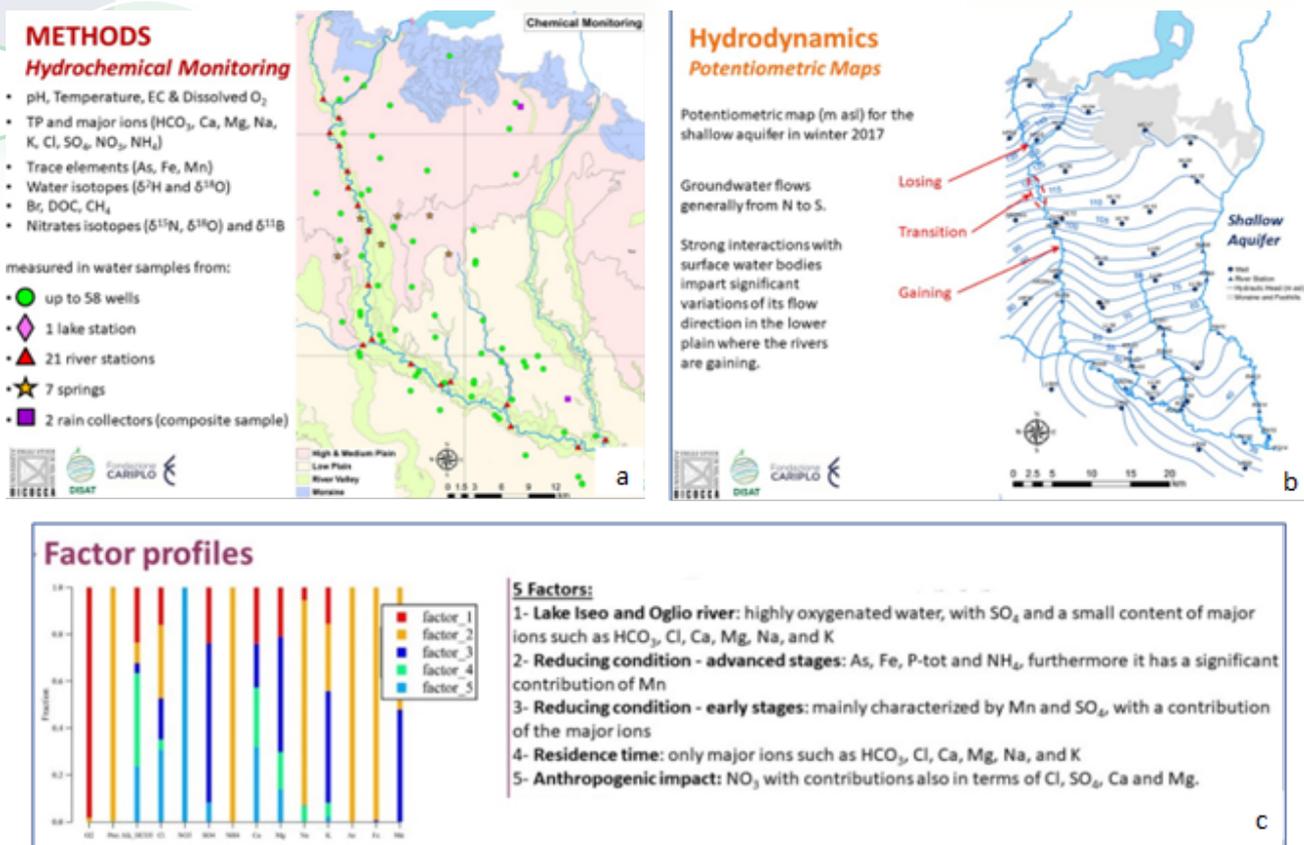


Figura 1: a) campagne di monitoraggio idrogeochimico; b) caratterizzazione idrodinamica; c) Analisi statistica multivariata PMF.

## Triggering critical raw materials mining in Italy: a circular economy and environmental challenge

Giovanni Grieco<sup>1</sup>, Giulia Zanetta<sup>1</sup>, Stefano Naitza<sup>2</sup>, Alberto Cazzaniga<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Università degli Studi di Milano

<sup>2</sup>University of Cagliari

<sup>3</sup>Minerali Industriali s.r.l., Novara

A major bottleneck in the development of the energy transition for a sustainable society, according to the Agenda 2030 plan, is the inevitable increase in the demand of georesources required for the implementation of environmental friendly new technologies, like renewable energy sources and reduced or zero emissions.

European Union has already addressed the challenge of resources supply through the institution of the Critical Raw Materials (CRM) list since 2010. The list, updated every two years, has always seen an increase of the raw materials listed as critical. The recent boom in CRM demand and economic importance, together with a largely more uncertain geopolitical situation, negatively affecting supply risk, pushed the European Commission to change the latest issue of the CRM list into the CRM Act, published on March 16<sup>th</sup> 2023.

Differently from the CRM list the Act aims to provide guidelines and deadlines for the reduction of criticality through a series of goals the EU governments are required to reach. Firstly, the Act introduced the Strategic Minerals (SM) category, defined on the basis of their importance for the green and digital transition as well as defence and space applications. Even though two SM (nickel and copper) did not meet the requirements to be listed as CRM they were added to the CRM list as exceptions. As a results SM are a subset of the CRM. The main goals to be reached by 2030 according to the Act are, with reference to the SM: at least 10% extraction within EU countries, at least 40% processing within EU, at least 15% supply from recycling and no more than 65% import from a single non EU country.

The goals listed in the CRM Act are very ambitious as compared to the present situation for the supply of CRM in EU as currently no more than 1% of the demand is met by internal extraction.

In Italy the only CRM largely extracted is feldspar while the extraction of SM is null. Italian government has begun to work on the challenge of triggering CRM extraction in Italy and the Ministry already in September 2022 set up, through the DM 15-09-22, law the “Tavolo tecnico sulle materie prime critiche (Table on critical Raw Materials)” as a workgroup aimed to deal with the renown interest and possible strategies for restarting CRM mining in Italy.

In this frame the extraction of valuable CRM from mining wastes can be a very important trigger as it can be more easily socially accepted, when accompanied by remediation actions aimed to reduce environmental risk in the area. A preliminary work on possible reduction of the Acid Mine Drainage processes has been started by Authors, involving universities of Milan and Cagliari and Minerali Industriali s.r.l., with a pilot study on some metallic mine waste and tailing materials in Sardinia.

The aim was to assess, in a circular economy perspective, the potential of mine wastes from Minerali

Industriali feldspar extraction in Northern Sardinia to be used as neutralizing materials for the Acid Mine Drainage reduction. The preliminary results show that the tested materials can be effective in reducing Acid Drainage, especially when their buffering potential is enhanced by the addition of low amounts of lime.

The environmental reduction tests have been included, as an essential part, in a much larger project (ten partners from three different countries) involved in assessing metal recovery from waste, tailings and slag dumps in Sardinia and Northern Greece.

## Recupero innovativo degli scarti del Serpentino della Valmalenco: proposte in un'ottica di economia circolare

Alessandro Cavallo

Università Milano Bicocca, Milano

“Serpentino della Valmalenco” is the commercial term referred to the schistose and “massive” varieties of serpentinite extracted in Valmalenco (Sondrio, Central Alps, Northern Italy): it is a dimension and building stone extracted at least since the XI century, historically used in slabs for roofing, currently marketed worldwide in many varieties, and appreciated for its technical qualities and colour shades (e.g. Verde Vittoria, Verde Giada, Serpentinoscisto). Serpentinities are ultramafic metamorphic rocks, deriving from the hydration of peridotites ( $\text{peridotite} + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{serpentinite}$ , mainly as ocean-floor metamorphism), composed mainly of serpentine polymorphs (the most important are antigorite, lizardite, and chrysotile), occurring in ophiolitic and sub-continental mantle complexes.

The extraction and processing of marbles, rocks and granites produces a significant amount of waste materials, in the form of shapeless blocks, scraps, gravel and sludge. Current regulations and a greater concern to the environment promote the reuse of these wastes: quartz-feldspathic materials are successfully used for ceramics, crushed porphyry as track ballast, whereas carbonatic wastes for lime, cement and fillers.

However, there are currently no reuses for serpentinitic materials: the total volume of serpentinites extracted in Valmalenco is estimated around 68,000 m<sup>3</sup>/yr and the resulting commercial blocks and products can be estimated around the 40-50% of the extracted material.

The processing wastes can vary significantly according to the finished product: 35% of waste can be estimated in the case of slab production, whereas 50% can be estimated in the case of multi-blade gang-saw cutting of massive serpentinite blocks. The total estimate of the processing rock waste in the Valmalenco area is about 12,700 m<sup>3</sup>/yr; together with the quarry waste, the total amount of waste produced in the area is more than 43,000 m<sup>3</sup>/yr. The sludge (approximately 12,000 m<sup>3</sup>/yr, more than 95% has grain size <50 micron) mainly derives from the cutting and polishing of massive serpentinites; it is filter-pressed before disposal (water content ranging from 11.5 to 19.4 wt.%). All the different waste materials were characterized by quantitative XRPD, whole-rock geochemistry and SEM-EDS.

The mineralogical composition is quite variable from quarry to quarry, with abundant antigorite (up to 90 wt.%) and olivine (up to 38 wt.%), and variable contents of diopside, chlorite, magnetite, chromite and brucite. The chemical composition reflects the Iherzolitic or harzburgitic protolith: MgO (35.1–42.7 wt.%), SiO<sub>2</sub> (38.8–42.3 wt.%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (7.1–8.8 wt.%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.9–2.8 wt.%), CaO (0.2–3.1 wt.%), Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.26–0.35 wt.%), Ni (1800–2100 ppm); little differences can be observed in trace elements.

Very few published studies on the reuse of serpentinitic wastes can be found. Coarse fragments

could be used for producing artificial aggregate stones; finely ground antigorite-rich materials might act as a filler for plastics (instead of talc). Olivine-rich (and also antigorite-rich) wastes as a reactive fixing carbon dioxide (as carbonates) released during the use of fossil fuels.

In the ceramic industry, the most promising target is represented by forsterite and/or high-MgO ceramics and forsterite refractories (with periclase addition), but also by cordierite ceramics (adding kaolin) and high-hardness vitroceramics. The real possibility of an industrial use of serpentinitic materials will require much more experimental work, because no relevant previous studies are available. Special care must be taken to avoid chrysotile asbestos contamination.

# Planetary growth changes

Remco Hin

CNR - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

Planets formed by collisionary accretion of smaller planetary objects. Current models of this process assume that when two objects collide, they join to form a new, larger planetary body that is the sum of the two smaller ones. When compared to primitive meteorites that did not experience large scale collisions, however, the Earth's chemical composition shows a mismatch to those primitive meteorites, called chondrites. The compositional differences essentially consist of an enrichment in refractory and depletion in volatile elements. In more detail, Earth seems most closely approximated by a type of chondrites called carbonaceous chondrites and least related to so-called enstatite chondrites, based the few elements that cover most of the mass of the Earth (silicon and magnesium; together with the oxygen they bind to, they form more than 60% of the mass of the Earth) (Figure 1a). A problem with these chemical comparisons between Earth and chondrites is that element ratios such as those in Figure 1a can be changed during geological processes. In contrast, nucleosynthetic anomalies in isotope ratios that are produced, for instance, in supernovae, are not changed by geological processes. Yet, these isotopic anomalies imply practically the opposite of element ratios: Earth is most closely related to enstatite chondrites, and least similar to carbonaceous chondrites (Fig. 1b). Based on magnesium isotope ratios measured with a new, more accurate and precise measurement technique, that planetary growth is an open-system process. Such open-system behaviour means that a body that formed by a collision of two smaller ones, is chemically not the sum of the two smaller bodies, but something else due to chemical changes that occur by colossal vapour loss during planetary growth. Additionally, I will introduce the work that my colleagues and I are doing to further investigate this hypothesis as part of my ERC Starting Grant *VapLoss*, and my related MUR Young Researchers Grant *VapourTime*.

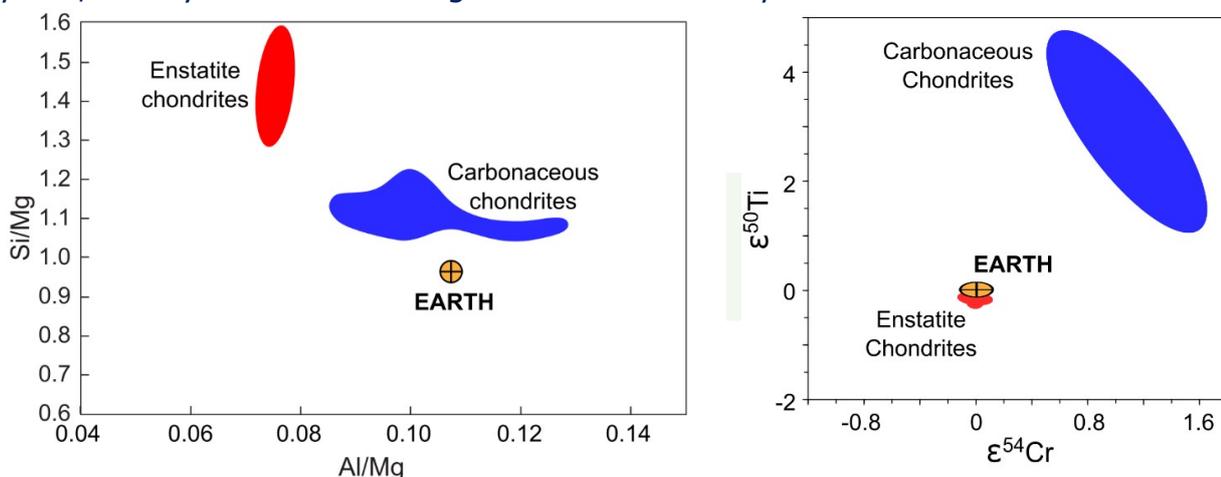


Figure 1. a) Silicon/magnesium and aluminium/magnesium of Earth compared to carbonaceous and enstatite chondrites. Note that Earth is not like any of the chondrites, but it seems most closely related to carbonaceous chondrites. b) Nucleosynthetic anomalies in isotopes of titanium compared to those of chromium found in Earth and chondrites. Note that here, Earth is similar to enstatite chondrites, not to carbonaceous chondrites.

IGAG Days

Sessione orale  
**Attività di ricerca al CNR-IGAG**

## Hydrocarbon wells potentially suitable for geothermal repurposing in Italy: a first assessment

Davide Scrocca, Claudio Alimonti

<sup>1</sup>CNR - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

<sup>2</sup>DICMA - Sapienza Università di Roma

The mature stage of oil and gas wells is often characterised by the production of hydrocarbons and associated formation waters, which must be treated continuously being often reinjected into the reservoir. Usually, the volume of produced water increases with the maturity of the fields until the production of hydrocarbons becomes uneconomic, and the wells are cemented and closed. However, according to their depth and local geothermal gradient, these oil and gas wells could have bottom-hole temperatures high enough to sustain the geothermal exploitation of the reservoir fluids. Where a geothermal potential exists, repurposing hydrocarbon wells into geothermal wells could be a reasonable alternative to the mining closure, with an approach inspired by the circular economy and the decarbonisation of energy production systems.

According to the available information, many existing Italian oil and gas (O&G) wells are approaching the end of their economic lifespan. This irreversible process requires an in-depth and systematic assessment of their conversion potential for heat production before the mining closure, which will compromise the possibility of repurposing existing wells for geothermal applications. Moreover, converting hydrocarbon wells to geothermal wells can dramatically reduce the capital-intensive costs of drilling new ones and associated risks.

Since 1985, 7246 wells have been drilled in Italy for hydrocarbon purposes (VIDEPI Project well database updated to 30 June 2016). According to the latest update provided by the Italian Ministry for Economic Development, there are 2166 active wells in Italy, 1434 of which are located onshore in the existing mining licenses. These onshore wells have different operational statuses, including 462 productive wells, 436 potentially productive wells, 394 wells dedicated to gas storage projects, and 142 additional wells for other purposes (e.g., reinjection or monitoring).

To identify the most promising hydrocarbon wells suitable for geothermal repurposing, we have combined information on wells and fields made available by the Italian Ministry of Economic Development, which have been integrated with data retrieved in the scientific literature, with the estimated temperatures at depth from the Italian National Geothermal Database. Only the onshore wells with a productive or potentially productive operational status (898 wells) have been considered in our analysis. With this simplified approach, we have selected the wells that have the potential to be repurposed for geothermal application (e.g., Soldo et al., 2020), which have been drilled in 42 hydrocarbon fields. Ten fields have a temperature higher than 60 °C at a depth greater than 2000 m, nine fields have a temperature higher than 70 °C at a depth between 2000 m and 3000 m, and 23 fields have an estimated temperature higher than 70 °C at a depth greater than 3000 m. The stored geothermal potential was evaluated using the volume method in five representative depleted oil and

gas fields.

Finally, considering the four possible repurposing scenarios, it is discussed how using a screening matrix can allow an analysis of the existing wells to define the more appropriate technology for their geothermal repurposing. Rather than terminating or removing economic activity on ageing onshore oil and gas wells, the reuse approach explores options to create new opportunities for heat harvesting. As documented by several case studies, heat can provide various potential applications ranging from direct local uses (e.g., heating, cooling, agro-industry, and other primary and tertiary sector applications) to indirect services (energy generation).

# Caratterizzazione geologica, minero-petrografica, geotecnica e geofisica in aree archeologiche ipogee: la necropoli di Madonna dell'Olivo a Tuscania

Cristina Di Salvo<sup>1</sup>, Aida Maria Conte<sup>1</sup>, Giorgio De Donno<sup>2</sup>, Cristina Perinelli<sup>1</sup>,  
Tatiana Rotonda<sup>2</sup>, Paolo Tommasi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CNR - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

<sup>2</sup>Sapienza Università di Roma

Vengono presentate le attività e i risultati preliminari di uno studio condotto sulla necropoli di Madonna dell'Olivo a Tuscania (VT), nell'ambito del progetto GeMON, finanziato da Lazio Innova tramite il Centro di Eccellenza Distretto Tecnologico Centrale-DTC Lazio.

La necropoli ipogea si sviluppa su due livelli di scavo lungo un pendio che costituisce il fianco della valle di un affluente del fiume Marta. La parte superiore del versante, ripida, è costituita da lave sovrapposte a una successione di materiali piroclastici e vulcano-sedimentari; al di sotto, fino a fondovalle, si estende una formazione argillosa pliocenica che forma un pendio più dolce e che costituisce il substrato del plateau vulcanico dell'intera area. Gli ambienti del primo livello, (Fig. 1), sono scavati all'interno del materiale piroclastico e sedimentario direttamente al di sotto delle lave. Gli ambienti del secondo livello sono collocati in una successione di livelli pomicei e piroclastiti rimaneggiate. A circa 2 metri dalla base del secondo livello, si trova il contatto con il substrato argilloso. Il sito archeologico è in uno stato di degrado avanzato, ed è aperto al pubblico soltanto in occasioni sporadiche; gli interventi tecnici e strutturali volti a limitare i ripetuti crolli e la percolazione di acqua piovana non si sono dimostrati risolutivi e hanno in alcuni casi pesantemente alterato l'estetica del sito. L'obiettivo della ricerca è quello di migliorare la fruizione turistica del sito e di suggerire interventi per migliorarne la gestione e la conservazione. Il lavoro è stato articolato nelle fasi seguenti:

- valutazione delle condizioni di degrado minero-petrografico dei materiali lapidei;
- valutazione delle condizioni di stabilità del sito e delle strutture;
- valutazione delle condizioni geomorfologiche del sito;
- allestimento di un sistema di monitoraggio delle componenti di degrado.

Nello specifico, le tecniche utilizzate per la caratterizzazione minero-petrografica e chimico-fisica sono: microscopia ottica ed elettronica, fluorescenza ai raggi x, spettroscopia infrarossa a trasformata di Fourier, diffrazione a raggi x, misure di densità. La caratterizzazione geologica, geotecnica, geofisica e idrogeologica e la verifica della vulnerabilità degli ipogei sono stati condotti mediante: rilevamento geologico del sito e delle aree limitrofe; indagini in situ (geofisiche, geo-strutturali e idrogeologiche) e in laboratorio (geotecniche e geofisiche); studio della morfologia superficiale e mappatura del dissesto idrogeologico tramite analisi di foto aeree, dati lidar, mappe catastali. Grazie a questo tipo di indagini è stato possibile: elaborare la carta geologica di dettaglio dell'area (Fig. 2); definire un modello geologico, geotecnico e idrogeologico; rilevare fenomeni franosi e di erosione

superficiale dei versanti; creare una rete di monitoraggio mediante l'installazione di strumentazione per il rilievo delle deformazioni negli ipogei. Questo studio ha consentito da un lato di approfondire le differenti caratteristiche minero-petrografiche dei materiali lapidei di ciascuna unità, e di correlarle alle caratteristiche geotecniche, e dall'altro di valutare l'interazione dei fenomeni di dissesto con gli ambienti ipogei. I risultati dei rilievi geofisici, oltre ad integrare le informazioni stratigrafiche ed arricchire la caratterizzazione dei materiali con i dati di velocità delle onde sismiche e di resistività, hanno messo in luce la possibile presenza di ambienti ipogei ad oggi inesplorati. I risultati preliminari mostrano che il versante è soggetto a uno stato di sforzo dovuto prevalentemente ai progressivi movimenti del litotipo argilloso che coinvolgono i materiali vulcanici soprastanti determinandone la fratturazione lungo superfici parallele alla direzione del versante. La fratturazione e il degrado dei materiali litoidi sono aggravati dalla percolazione delle acqua meteorica all'interno degli ipogei, mentre Le acque di ruscellamento superficiale determinano un'azione erosiva concentrata soprattutto nei materiali pomicei.



Figura 1: la Grotta della Regina, situata nel primo livello degli ipogei

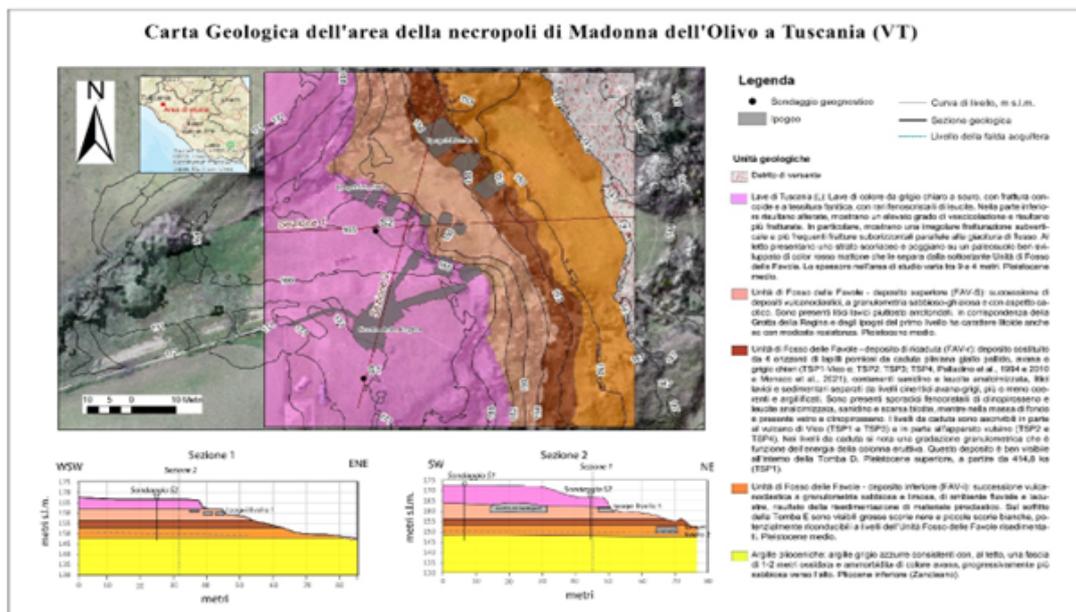


Figura 2: Carta geologica dell'area di studio

## Geocosystem services of Italian show caves: a hidden geoheritage in the karst critical zone

Laura Sanna

IGAG Days

CNR - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

The European perspective of the Green Deal focuses on the feasible exploitation of natural capital, reducing the environmental footprint of human activities and ensuring a sustainable future for present and next generations. A significant contribution to this strategy is an ecological transition based on protecting, conserving and improving the EU's natural capital. In achieving this goal, it is essential to address specific actions to promote quantitative/qualitative characterization of the Critical Zone. This belt of land, water, air and organisms at the interface between the atmosphere, the Earth's surface and subsurface, is involved in structuring and functioning the ecosystems, (1) supporting life on the Earth with many chemical reactions and biological processes, (2) providing water, nutrients and habitat for plants and animals, (3) controlling the carbon cycle and (4) regulating the short- and long-term climate.

The Critical Zone is of particular importance in karst regions where it includes the water exchange fringe between soil and underground environment, the transition zone between soluble and non-soluble substrates, as well as the interconnection between the surface and subterranean ecosystems. The knowledge of the karst critical zone is crucial for understanding a particular hidden landscape through which water, energy and matter moves: the cave systems. These underground voids are characterized by lack of light and oligotrophic conditions. They form a highly interconnected network which is energy supply-dependent from the connectivity with the surface. As other ecosystem functions of Earth's subsurface, cave environment sustainability requires balancing between exploitation and conservation of its non-renewable abiotic resources, considering the long-time cycles of its geodiversity, often neglected.

Today, more than 1,200 caves worldwide are commercially used as touristic attraction: some of them are recognised as World Natural Heritage but many others are subjected to natural and human-imposed disturbance. In Italy, more than 50,000 natural caves are currently known and less than 1% of them are equipped for visits as show caves. The diversity of habitats and organisms that Italian show caves host, has a specific role in supporting the natural capital of the global ecosystem, a geoheritage that has been largely undervalued.

With the aim to perform an assessment of direct and indirect benefits that society obtains from these abiotic environments, this study explores the concept of geocosystem services applied to the Italian show caves as starting point to analyse the issue of their sustainable use. Even though abiotic elements are excluded from the definition of ecosystem services, this approach can be used as a management tool for nature conservation and as transversal condition for the pursuit of the objectives of human prosperity and well-being.

IGAG Days

Sessione Poster  
**Attività di ricerca al CNR-IGAG**

# The impact of precipitation and temperature shifts on the Levant during the Late Pleistocene: assessment from biological and geochemical indicators from Lake Hula

Abdel-Aziz Abdrahamane Yassine<sup>1</sup>, Shah Parth<sup>1</sup>, Mina Weinstein-Evron<sup>2</sup>,  
 Iliaria Mazzini<sup>3</sup>, Nicolas Waldmann<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Marine Geosciences, University of Haifa, Israel

<sup>2</sup>Zinman Institute of Archaeology and School of Archaeology and Maritime Cultures, University of Haifa, Israel

<sup>3</sup>CNR - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

The Levant is known to be a sensitive region responsive to any small-scale hydro-climate variability in the geological past. Recently, recurring draughts, temperature extremes and increased anthropogenic activity have heavily affected the region which in turn might have played a key role in local geopolitical instabilities. Terrestrial archives from this region can thus be valuable sentinels to understand the unique patterns of natural climate variability and its forcing factors, as well as their ecological and environmental impacts. A multi-proxy approach is applied on a >160 m long sedimentary record from Lake Hula to identify the possible impact of precipitation and temperature changes on the hydrological system during the late Pleistocene. The analysis includes sedimentology (grain size), geochemistry (elemental content, mineralogy, total organic matter content), and biological proxies (ostracods), in order to reconstruct the processes occurring both within the limnic environment and the terrestrial surroundings.

Initial investigation of the lithology and elemental ratio concentrations shows alternating intervals that appear to be associated with low runoff from the lake catchment (identified as a decrease in allogenic minerals and increase in authigenic components), intercalating with intervals characterized by an opposite trend. This initial interpretation implies intercalation between dry and wet climate conditions. Furthermore, variations in the sediment lithology and geochemical proxies suggest fluctuations related to the dominating precipitation regime (winter rains from the Mediterranean), thus proposing that a millennial-scale orbital forcing variability could potentially be disentangled out from the record, as it is well constrained by the chronology.

In parallel, isotopic analyses ( $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$ ) of ostracod shells can help to estimate temperatures and lake level changes, which can be associated with precipitation intensity changes over the region. Moreover, by reconstructing the reaction of the lake system to hydro-climate variability through time, we can better disentangle the current impact of anthropogenic stress and assess future trends. Overall, this study provides a comprehensive picture of the different mechanisms driving abrupt climate changes in the region and explores their potential relevance to future climatic studies.

## Carta Geoturistica dell'Isola di Capraia. Itinerari via mare

Barbara Aldighieri<sup>1</sup>, Maurizio Burlando<sup>2</sup>, Bruno Foggi<sup>3</sup>, Gianluca Groppelli<sup>1</sup>,  
Fabia Malara<sup>4</sup>, Bruno Testa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CNR - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

<sup>2</sup>Ente Parco Nazionale Arcipelago Toscano

<sup>3</sup>Università degli Studi di Firenze

<sup>4</sup>Associazione Italiana di Geologia e Turismo

La Carta Geoturistica di Capraia – Itinerari via mare è il secondo risultato della convenzione di collaborazione tra CNR- IGAG e il Parco Nazionale Arcipelago Toscano e vede la partecipazione dell'Associazione Italiana di Geologia e Turismo. La prima carta geoturistica dell'Isola di Capraia è costituita da 4 itinerari lungo i principali sentieri dell'isola, carta pubblicata l'anno scorso e ristampata quest'anno. L'idea nasce dall'esigenza di valorizzare e divulgare il patrimonio geologico come una componente fondamentale del Paesaggio, per comprendere l'isola da un punto di vista sia naturale, che storico e culturale.

Capraia, la sola isola di origine vulcanica dell'Arcipelago Toscano, attrae il pubblico per il colore spettacolare delle rocce, che contrasta il blu del mare ed è arricchito dalla bellezza della vegetazione tipica della macchia mediterranea. La Carta Geoturistica vuole essere uno strumento per supportare il turista nell'interpretazione geologica dei siti e dei paesaggi che osserva da mare o lungo i sentieri dell'isola. Il punto di partenza è costituito dalla Carta Geologica, in senso classico, rilevata in scala 1:10.000 e attualmente in via di pubblicazione. Tale documento per i nostri fini ha richiesto una serie di rielaborazioni. Pertanto la prima fase è consistita nel semplificare la rappresentazione cartografica sulla base delle principali fasi evolutive individuate per costruire una "narrazione della storia dell'isola" accessibile anche al turista curioso.

Nella carta "Itinerari via mare", realizzata sulla stessa base cartografica della carta geoturistica di terra, si propongono oltre 30 punti di osservazione lungo la costa in corrispondenza delle più eclatanti evidenze geologiche e morfologiche, opportunamente scelti grazie al confronto con le agenzie locali che organizzano il tour attorno l'isola. La carta di mare costituisce uno strumento per accompagnare il turista nelle sue escursioni in barca, per aiutarlo ad interpretare gli scorci più spettacolari, e comprendere il fascino della storia evolutiva dei vulcani di Capraia. Costituisce inoltre nuovo documento fondamentale per accrescere nella popolazione locale in senso di identità territoriale, acquisire la consapevolezza dell'unicità della propria isola e la necessità di promuoverla secondo i principi di un turismo responsabile e sostenibile.

## Recupero di Materie prime dai residui da attività estrattiva in SARdegna: il progetto REMASAR.

Augusto Bortolussi<sup>1</sup>, Giovanna Cappai<sup>2,1</sup>, Stefano Cara<sup>1</sup>, Daniela Guglietta<sup>1</sup>,  
Orietta Masala<sup>1</sup>, Carlo Matzuzzi<sup>1</sup>, Stefano Milia<sup>1</sup>, Laura Sanna<sup>1</sup>, Adalgisa Scotti<sup>3</sup>,  
Francesca Trapasso<sup>1</sup>, Stefano Ubaldini<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CNR - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

<sup>2</sup>Università degli Studi di Cagliari

<sup>3</sup>ICES – Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina

La possibilità di trasformare i residui da attività estrattive in fonte di materie prime seconde (comprese quelle critiche e di interesse strategico) sta attirando l'attenzione del mercato e della comunità scientifica. La Commissione Europea e l'Istituto Europeo di Innovazione e Tecnologia (EIT) stanno promuovendo azioni per la realizzazione di carte tematiche di materie prime strategiche da depositi e siti minerari dismessi, propedeutiche al recupero di risorse, per ridurre la dipendenza dell'Unione Europea dalle materie prime dei Paesi extra-UE e aumentare la competitività industriale inserendola in un contesto di economia circolare.

In questo contesto, il progetto REMASAR crea le basi per lo sviluppo di una strategia multidisciplinare finalizzata alla gestione sostenibile e alla valorizzazione dei residui estrattivi in Sardegna, con particolare attenzione al recupero di materie prime critiche come ad esempio antimONIO (Sb), cobalto (Co), vanadio (V), manganese (Mn), rame (Cu), nichel (Ni). Tale strategia ha previsto, partendo dalle informazioni sull'assetto territoriale e amministrativo del settore estrattivo regionale contenute nel Piano Regionale delle Attività Estrattive (PRAE) della Sardegna, l'individuazione del sito minerario di Montevecchio Levante (SU) come area di interesse, la caratterizzazione chimico-fisico-mineralogica dei residui, la loro mappatura con tecniche di osservazione della terra da remoto (satellite) e di prossimità (droni), e la loro classificazione al fine di individuare e quantificare le possibili fonti di materie prime critiche e di interesse strategico economicamente valorizzabili.

Sui residui selezionati sarà applicato a scala di laboratorio un processo innovativo di fitoestrazione "assistita", valutando l'effetto della simbiosi tra apparato radicale e specie fungine eventualmente presenti nei suoli sulla capacità di trasferimento delle sostanze di interesse dai residui stessi ai tessuti vegetali, nell'ottica di un loro successivo recupero mediante processi avanzati (ad esempio idrometallurgici o bio-idrometallurgici). Saranno inoltre campionate e caratterizzate le acque di drenaggio dell'area di miniera interessate da fenomeni di inquinamento, e saranno valutati possibili interventi di ripristino e riqualificazione paesaggistico-ambientale mediante ricostruzione in ambiente 3D delle aree oggetto di studio.

Tra i risultati attesi del progetto vi sono l'implementazione e validazione di una nuova strategia multidisciplinare per la gestione sostenibile e la valorizzazione dei residui da attività estrattiva, replicabile in diversi siti; la creazione di database e cartografie tematiche fruibili dai decisori e dai portatori di interesse per l'individuazione e valutazione economica dei residui aventi potenziale per il

recupero di sostanze ad elevato valore commerciale; lo sviluppo di sistemi avanzati per il recupero di materie prime e il monitoraggio della qualità delle acque; la creazione di una sinergia tra enti pubblici e privati nel settore del recupero delle materie prime da scarti estrattivi, finalizzata ad aumentare la competitività del comparto produttivo regionale; l'accettazione da parte dei cittadini dei residui da attività estrattive, da considerare come risorsa.

## Sinkhole susceptibility map of Italy by machine learning algorithm

Giancarlo Ciotoli<sup>1</sup>, Federico Mori<sup>1</sup>, Livio Ruggiero<sup>2</sup>, Chiara Varone<sup>1</sup>,  
 Massimiliano Moscatelli<sup>1</sup>, Stefania Nisio<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CNR - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

<sup>2</sup>ISPRA - Dipartimento Servizio Geologico d'Italia, Roma

Sinkholes are a geological risk that is usually underestimated due to their very localized nature, direct impact on aquifer vulnerability, and potential loss of life and property. Civil protection officials and urban planners face significant challenges in predicting the precise location and timing of these sudden collapses. Knowledge of the controlling factors that underlie and/or trigger sinkhole formation, as well as their spatial distribution patterns, will be important in developing a sinkhole susceptibility map. This map is crucial for mitigating negative consequences and implementing strategic adaptations to land use practices.

The current paper attempts to generate a preliminary sinkhole susceptibility map of the Italian area using a machine-learning approach based on the Logistic Forest Regression (LFR) algorithm. The ISPRA sinkhole inventory (1103 cases) has been used as response variable of the model. Since logistic regression requires a binary dependent variable (in this case, the presence or absence of sinkholes), the sinkhole dataset was combined with an equal number of sites selected randomly from a point 1x1km fishnet in areas wherein sinkholes did not exist. This new dataset was then divided into training and test data, and a conceptual model including 13 conditioning variables (e.g., predictors) was built. Ten predictors are continuous variables whereas three predictors are categorical variables. Dummy variables are generated from categorical variables. The Variance Inflation Factor (VIF) was used to examine multicollinearity among predictors and exclude those that had a minor impact (e.g., redundancy) to prediction quality. Slope and Height Above Nearest Drainage (HAND) demonstrate redundancy in this model ( $VIF > 7$ ) and were thus eliminated from the regression model. The model's accuracy was assessed using receiver operating characteristic curves (ROC) (area under the ROC is 0.862). (Fig.1).

The SHAP diagram shows that the following factors influence sinkhole formation: elevation, sedimentary cover thickness, earthquake density, distance from the nearest drainage line, water table depth, and the existence of clastic-alluvial cover (Fig. 2).

The variable importance (%) in the regression model is displayed in Figure 3. The resulting predicted map highlights areas with very high and high sinkhole susceptibility, including the Padana Plain (northern Italy), the Thyrrenian coast area from northern Tuscany to southern Campania, and the Umbria region (Fig. 4). The sinkhole susceptibility map was then integrated with the shapefiles of Italian municipalities to identify those with higher susceptibility and estimate the area covered by the different susceptibility classes. According to the results, zones classified as very high and high risk (probability 0.6-1.0) encompass approximately 12,212 km<sup>2</sup> of the entire study area, and involves approximately 7 million inhabitants of about 200 municipalities.

Overall, the results of this research demonstrate that machine learning models can be used to build reliable susceptibility maps and predict prospective sinkhole locations. In addition, the map can be combined with information regarding the urban environment and the population, making it a valuable instrument for urban planning and geohazard risk management.

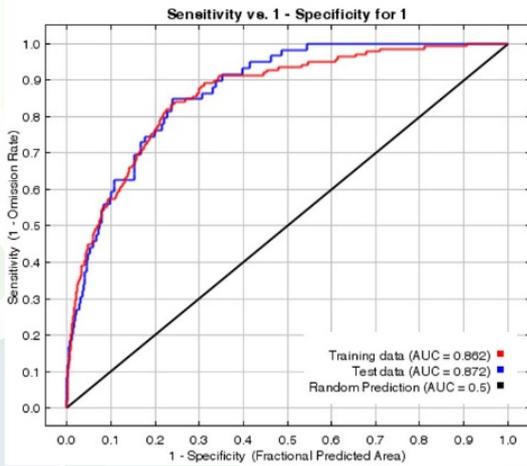


Figure 1. Receiving Operating Curve, the area underneath the red curve (training data) and the blue curve (test data) represents the accuracy of the model in percentage terms, 86.2% and 87.2% respectively.

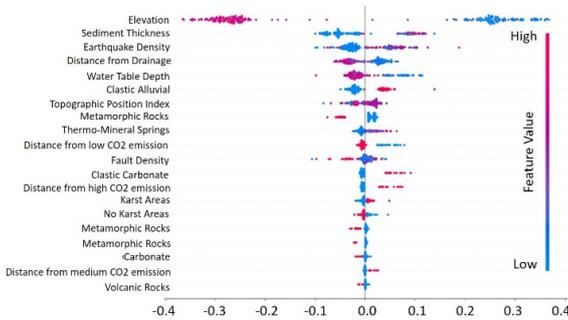


Figure 2. SHAP diagram shows that the key influencing predictors for sinkhole formation.

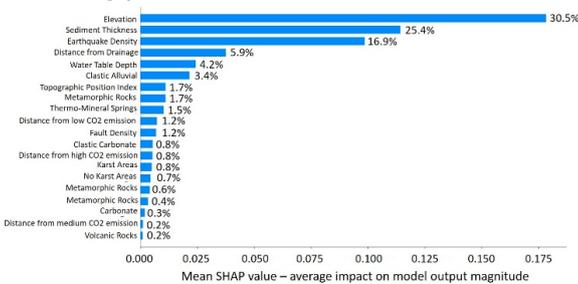


Figure 3. Variable importance in the model.

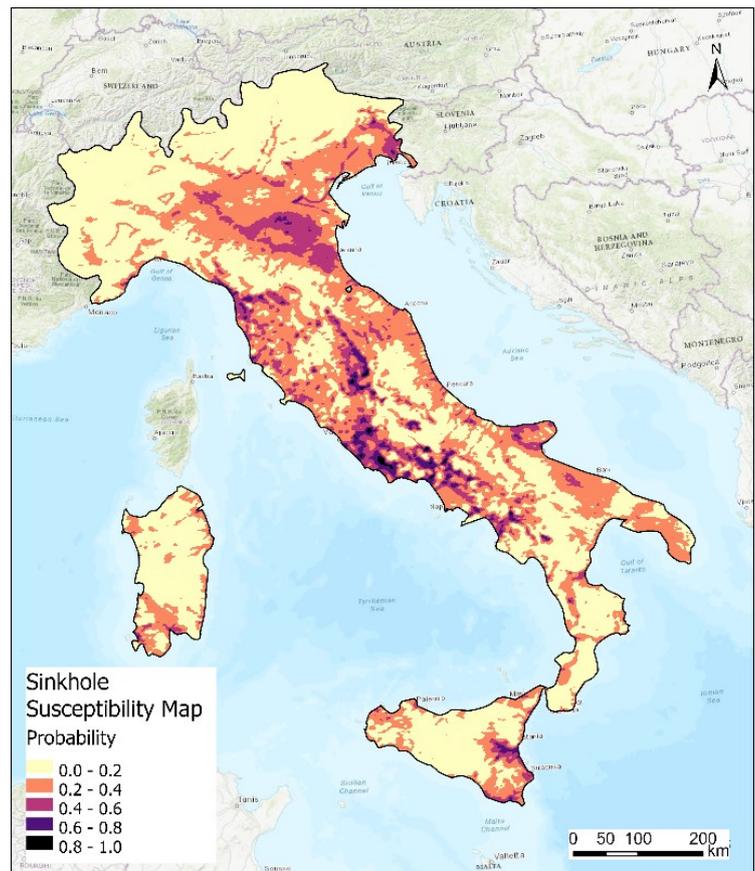


Figure 4. Sinkhole susceptibility map of Italy.

## Volcanism and sedimentation in the peripheral Alpine basins: where we are and where we are going to

Andrea Di Capua, Federica Barilaro, Gianluca Groppelli

CNR - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

The Paleogene represents a key period in the growth of the Alpine belt. Between 40 and 30 Ma, in particular, volcanoes appear to the surface and inundated the peripheral basins of thin and thick volcanogenic sequences that represent the most important clues about such volcanism. Volcanic sequences are, in fact, extremely rare and confined to the west of the chain, disarticulated from the source-to-sink systems that supplied detritus to the depocenters, together with dikes crosscutting the southern part of the belt. In the last decade, we collected different stratigraphic, petrographic and geochemical data on the volcanoclastic sediments, with the aim to reconstruct the relationship between putative volcanic centers and the basins, as well as to understand the nature of the Paleocene volcanic arc/arcs. We dedicated our work on both side of the chain, considering the sequences named Taveyanne Sandstones cropping out between France and Switzerland, Cibrone Formation, cropping out in Northern Italy near the town of Lecco, and the Val d'Aveto Formation, cropping out in the Northern Apennines. All these sequences are characterized by large amounts of volcanogenic detritus, rarely preserving pyroclastic deposits, andesitic to dacitic and rhyolitic in composition. Occasionally, it is mixed with non-volcanic detritus, a component useful in tracing provenance of sediments. In addition, the Biella Volcanic Suite has been mapped, logged and geochemically and petrographically characterized. Although more constraints are needed, it appears that the Paleogene Alpine volcanism was composed by two different arcs, one developed onto the Southalpine domain, the other one developed on the Periadriatic Fault System, probably active in two different moments during the growth of the Alps.

## Role of variable plate kinematics history in the back-arc deformation regime along the western Pacific margin (Japan Sea)

Eleonora Ficini<sup>1</sup>, Marco Cuffaro<sup>1</sup>, Taras Gerya<sup>2</sup>, Carlo Doglioni<sup>3,4</sup>

IGAG Days

<sup>1</sup>CNR – Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

<sup>2</sup>ETH Zürich, Swiss

<sup>3</sup>INGV, Roma

<sup>4</sup>Sapienza Università di Roma

Extension in back-arc basins generally occurs behind arc-trench systems. The mechanisms that contribute to its formation and the resulting deformation regime are closely tied to the subduction of oceanic lithosphere. In this study, we investigate the evolution of the Japan Sea back-arc basin by employing numerical modelling tools along the western margin of the Pacific plate. Over the past 57 million years, the subduction processes in this region have played a significant role in shaping the deformation style. We developed 2D high-resolution thermo-mechanical numerical models of subduction dynamics, incorporating several factors to enhance the simulation complexity. These factors include: i) considering the kinematic variability of the Pacific plate with respect to a fixed Eurasia throughout its geological history, ii) incorporating a Low-Viscosity Zone within the asthenosphere, and iii) incorporating a horizontal eastward mantle flow. Our findings highlight the primary influence of the kinematics on the position of the subduction trench, which exhibits alternating advancing and retreating behavior, leading to stages of compression and extension in the Japan Sea back-arc basin. The deformation regime observed aligns well with the tectonic evolution history documented along the Eastern Eurasian margin, as well as with analyses of paleo-volcanic front positions and paleo-stress reconstructions in the Japan Sea region.

# **Il contributo del CNR-IGAG nel Progetto CALIGOLA: Caratterizzazione degli Ammassi Litoidi e degli ambienti IpoGei attraverso la valutazione delle caratteristiche di Oscillazione e dell'interazione con i manufatti Lapidei del Criptoportico Centrale del colle Palatino**

Iolanda Gaudiosi, Massimiliano Moscatelli, Francesco Stigliano, Marco Mancini, Mario Ariano, Margherita Giuffrè, Federico Mori, Francesco Pennica, Edoardo Peronace, Maurizio Simionato, Francesco Versino, Francesca Argiolas, Federica Polpetta, Martina De Angelis

CNR – Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

Il presente lavoro illustra le attività in corso e di prossima realizzazione nell'ambito del Progetto CALIGOLA che fa parte di un Programma di Ricerca finanziato dalla Regione Lazio e del MUR, volto a valorizzare l'insieme delle competenze e delle tecnologie dedicate alla tutela e alla fruizione dei beni e attività culturali, tramite il "Distretto Tecnologico per le nuove tecnologie applicate ai beni e alle attività culturali".

La Partnership del Progetto prevede la partecipazione di 2 Istituzioni pubbliche (CNR-IGAG, e Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica dell'Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale), 2 società private (Eagleprojects s.p.a e Bitgears s.r.l.), e il Patrocino del Parco Archeologico del Colosseo.

In generale, si deve considerare che l'area di studio è situata sulla sommità del colle Palatino e precisamente in una porzione del colle avente come protagonista lo stesso imperatore Caligola.

Il team del CNR IGAG, anche utilizzando il patrimonio di informazioni, di dati e documenti acquisiti nei decenni riguardo la storia dei dissesti e dei rimaneggiamenti del sito investigato, ha messo a punto un modello del sottosuolo del colle Palatino, nell'areale comprendente le cavità sotterranee degli Orti Farnesiani e del Criptoportico Centrale.

Il modello geologico messo a punto è propedeutico alla comprensione delle cause di dissesto precludenti la stabilità dei manufatti e dei terreni incassanti, che verrà attuata anche grazie all'ausilio di modellazione numerica.

Per comprendere la complessità del Progetto si deve considerare che l'area di studio, già abitata dalle età del Bronzo e del Ferro (XIII – IX sec. a.C.), è una piccola parte di una città enorme quale Roma, che è stata la più grande dell'Impero Romano ed è rimasta una delle più importanti città dell'Europa prima delle grandi capitali dell'Ottocento.

L'area d'indagine si iscrive all'interno di un articolato comparto architettonico pertinente alla Domus Tiberiana, primo palazzo dinastico edificato da Nerone dopo l'incendio del 64 d.C.

Ad oggi la Domus Tiberiana appare dall'alto per lo più con l'aspetto di un giardino in mezzo a rovine archeologiche a seguito degli interventi di rimaneggiamento operati nel corso dei secoli.

L'intero complesso della Domus Tiberiana è fra le aree particolarmente soggette a rischio di crolli e cedimenti e che necessitano di interventi di stabilizzazione dei versanti su cui insiste.

Il ricorso, da parte dei costruttori Romani, ad interventi preliminari di terrazzamento e puntellamento della collina mediante muri di contenimento e sostruzioni con muri trasversali che fungevano da contrafforti, è già indice della consapevolezza delle difficoltà costruttive alla luce delle caratteristiche dei terreni di fondazione e della posizione topografica delle strutture.

Un altro fattore significativo che contribuisce alla pericolosità geologica sul colle Palatino è la presenza di cavità, naturali e antropiche, quest'ultime realizzate in diverse epoche con differenti funzioni. Si tratta per lo più di gallerie per il drenaggio delle acque e di cunicoli che si addentrano nelle murature e nel banco roccioso con finalità estrattive e di recupero di materiale edilizio per dismissione di edifici antichi. I cunicoli sono ricavati nella muratura in opera cementizia, nel banco di tufo e in certi casi attraversano la successione degli strati: muraglione, eventuale riempimento terrigeno e banco roccioso.

Alcuni di questi cunicoli costituiscono vere e proprie reti sotterranee che proseguono per vari metri all'interno del colle e sono stati segnalati anche al di sotto del Criptoportico Centrale.

Tutto quanto qui descritto costituisce la sintesi dell'approfondimento finora acquisito delle conoscenze dell'area di studio. Le Cinque W (Why, What, Who, Where, When) saranno utilizzate come domande chiave le cui risposte sono ritenute fondamentali per condividere le principali informazioni sul Progetto CALIGOLA.

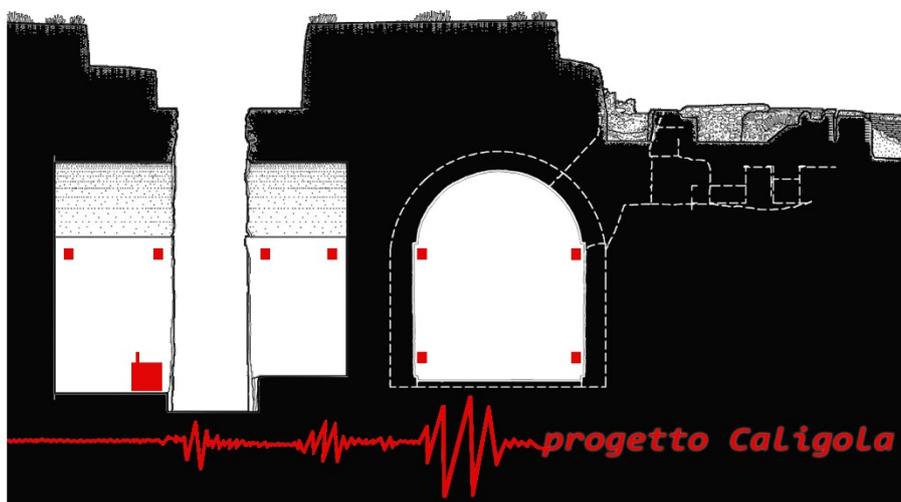


Fig. 1 – Particolare dell'area di studio

## Analisi dati nelle Geoscienze mediante classificazione guidata da Machine Learning

Christian Gencarelli<sup>1</sup>, Mohammed Hammouti<sup>1</sup>, Mina Yazdani<sup>2</sup>, Riccardo Biondi<sup>3</sup>, Daniela Molinari<sup>4</sup>,  
Paola Salvati<sup>2</sup>, Simone Sterlacchini<sup>1</sup>, Debora Voltolina<sup>1</sup>, Marco Zazzeri<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CNR – Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

<sup>2</sup>CNR – Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica

<sup>3</sup>Università degli Studi di Padova

<sup>4</sup>Politecnico di Milano

Nell'ambito delle geoscienze l'analisi dei dati è un'attività fondamentale per comprendere i fenomeni naturali e prevederne l'evoluzione. Tra le tecniche più utilizzate c'è quella della classificazione che, guidata dal machine learning, permette di analizzare grandi quantità di dati in modo efficiente e automatico.

In questo contributo sono mostrati due casi studio accomunati dall'utilizzo di questa tecnica:

- nel primo verrà mostrato un modello di mortalità per le alluvioni specifico per l'Italia (periodo 1970 - 2019), che si basa sui dati della popolazione e sulla morfologia del territorio, che si propone di valutare le combinazioni più critiche delle variabili esplicative che possono causare vittime a causa di alluvioni;
- nel secondo verrà mostrato un modello in grado di classificare le nubi tra vulcaniche e non vulcaniche sulla base dei profili atmosferici ottenuti da dati satellitari tramite la tecnica di radio occultazione.

Entrambi i casi studio mostrano come la classificazione basata sul machine learning possa essere utilizzata per valutare la complessità e la varietà dei dati in modo semplice e preciso, consentendo una comprensione più rapida e accurata dei fenomeni e degli effetti associati.

## **Spazio interattivo per le SCUOLE: l'Economia Circolare dalla Preistoria al Futuro.**

Daniela Guglietta, Emanuela Tempesta, Marco Gozzi, Francesco Versino, Matteo Paciucci,  
Stefano Ubaldini, Aida Maria Conte, Simona Rosselli

CNR - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

Il mondo della ricerca può fare molto per migliorare la qualità del sistema educativo nazionale e favorire il trasferimento di conoscenze 'dal laboratorio all'aula', contribuendo a promuovere la cultura scientifica nel sistema scolastico (<https://www.cnr.it/it/canali/scuole>).

Nel 2021 il Consiglio Nazionale delle Ricerche e il Ministero dell'Istruzione hanno formulato un percorso di orientamento nel mondo della ricerca istituendo una collaborazione tra sistema educativo di istruzione, formazione e mondo del lavoro per rispondere adeguatamente alle indicazioni ANVUR, osservando tre pilastri su cui basare le Attività di Terza Missione e facilitare la circolarità della conoscenza. Questi pilastri sono: diffondere, disseminare, divulgare (tutte attività di Public Engagement). L'IGAG, grazie al progetto autofinanziato DTA.AD002.507: "Divulgazione Scienze della Terra", favorisce la formazione, la divulgazione e il trasferimento tecnologico nell'ambito delle Scienze della Terra attraverso diverse iniziative. Dal 2017/18 il CNR-IGAG Sede di Montelibretti partecipa attivamente al progetto "il Linguaggio della Ricerca (LdR)" puntando a creare una sinergia fra il mondo della scuola e quello della ricerca. La sede CNR-IGAG offre laboratori didattici rivolti alle scuole di ogni ordine e grado con lo scopo di sensibilizzare i ragazzi allo studio dell'ambiente e del territorio per rivestire loro stessi il ruolo di protagonisti attivi e non di spettatori passivi. Attraverso i laboratori introdotti nei programmi del progetto LdR si inseriscono i Percorsi per le Competenze Trasversali e per l'Orientamento (PCTO). I PCTO stabiliti in sinergia con i docenti, prevedono esperienze laboratoriali, informatiche e di ricerca nel campo delle Geo-scienze.

Dal 2019 il CNR-IGAG, introducendo le proprie competenze e professionalità, partecipa alla "Notte Europea dei Ricercatori" (the European Researchers' Night – ERN) con l'obiettivo di creare un'opportunità di incontro tra il mondo della ricerca e utenti diversificati (comuni cittadini, studenti) per diffondere la scienza e la conoscenza e soprattutto la professione del ricercatore in un contesto informale, colloquiale e interattivo. Nonostante il periodo emergenziale pandemico l'IGAG ha visto una vivace collaborazione con gli Istituti superiori nazionali su temi inerenti lo studio delle origini della Terra fino alla contemporaneità della geologia ambientale e delle risorse da utilizzare e preservare soffermandoci sull'Economia – Circolare. Contestualmente, in occasione degli eventi inerenti al "Centenario del CNR", il CNR-IGAG in collaborazione con gli istituti del CNR dell'area della ricerca di Roma1 ha organizzato eventi aprendo le porte alle SCUOLE per avvicinare le giovani generazioni allo studio delle discipline scientifiche e sensibilizzare i ragazzi su temi inerenti la sostenibilità ambientale. Le attività proposte sono ispirate dai progetti in corso tra CNR - IGAG ed Enti di ricerca e Ministeri nazionali e internazionali, e Commissione Europea (es. CNEA- Argentina, MAECI, LIFE, Erasmus+, APRE). Tali iniziative sono in linea con i principi dell'open education

recentemente ribaditi dalla Commissione Europea, che vedono nel ricorso alle risorse educative 'aperte', pubbliche e accessibili a tutti, un'opportunità di innovazione per le organizzazioni educative, i docenti e gli studenti.



Figura 1. P CTO-Liceo Classico Scientifico Linguistico Statale Lorenzo Rocci- Passo Corese, Rieti



Figura 2. Marzo 2023, "Centenario del CNR- Racconti chimici di economia circolare" dedicato alle SCUOLE – Evento promosso dalla rete degli Istituti del Dipartimento scienze chimiche e tecnologie dei materiali (Dscmt)

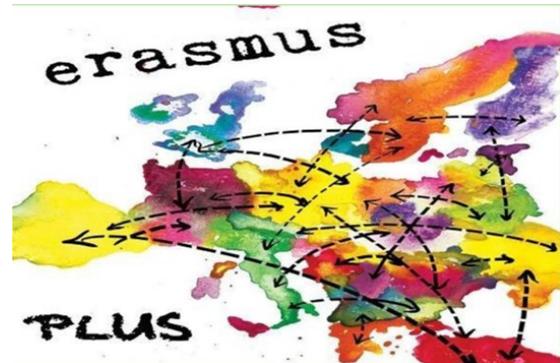


Figura 3. Luglio 2023 - "Centenario del CNR", L'Area Territoriale di Ricerca di Roma 1- Montelibretti incontro Scuola – Ricerca.

Figura 4. Ottobre 2022/luglio 2023 Progetto europeo ERASMUS+ "Games4Change", Puerto de Mazarrón Spagna.

## Mining waste characterization for optimised management by multidisciplinary approach: first results and future developments

Daniela Guglietta<sup>1</sup>, Amina Wafik<sup>2</sup>, Aida Maria Conte<sup>1</sup>, Fadil Abdelali<sup>2</sup>, Elena Marrocchino<sup>3</sup>, Matteo Paciucci<sup>1</sup>, Rosalda Punturo<sup>1,4</sup>, Simona Rosselli<sup>1</sup>, Rosamaria Salvatori<sup>5</sup>, Ahmed Ait Touchnt<sup>1</sup>, Daafi Youssef<sup>2</sup>, Giorgio Saverio Senesi<sup>6</sup>, Roberto Salzano<sup>7</sup>, Carmela Vaccaro<sup>3</sup>

<sup>1</sup>CNR - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

<sup>2</sup>Cadi Ayyad University (UCAM), Marrakesh, Morocco

<sup>3</sup>Università degli Studi di Ferrara

<sup>4</sup>Università degli Studi di Catania

<sup>5</sup>CNR - Istituto di Scienze Polari

<sup>6</sup>CNR - Istituto per la Scienza e Tecnologia dei Plasmi

<sup>7</sup>CNR – Istituto di Inquinamento Atmosferico

In recent years, the increasing use of raw materials and the increase in anthropogenic pressures on the environment have accelerated the transition from a linear model of production and consumption based on "extraction-use-final disposal" to a circular model, in which mining waste are considered as a potential resource. The transition to a society with nearly zero waste production not only has an environmental reason, but becomes increasingly a factor of competitiveness, since technological progress and quality of life depend on access to an ever-increasing number of raw materials.

This project aims at enhancing multidisciplinary scientific collaboration in the context of circular economy applied to the characterization and satellite mapping of the mining waste. In agreement with the work plan of the project, the Italian and Moroccan researcher teams carried out the activities of the first year. In May 2022, representative mining waste samples were collected at the Sidi Bou Azzouz mine and at the CNR-IGAG, CNR- ISP, Université Cadi Ayyad Marrakech, and Ferrara University laboratories, analyses were performed in order to identify the characteristic hyperspectral signatures as well as mineralogical and chemical composition of target mining waste. In addition, 4 trainers of mineralogy course from Sapienza University have been involved in SEM-EDS analysis.

In March-April and May 2023, extensive sampling and mapping was carried out in the Sidi Bou Azzouz district. All data (such as results of different characterization analyses, GPS coordinates, pictures and brief description of each sample) were also gathered and stored in geodatabase. The Sentinel -2A multispectral image was analysed and classified to create a map of the mining waste in the study area. Thanks to the new collaborations with CNR- ISTP and University of Catania, we are currently performing further characterization analyses using Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS), micro-X-ray fluorescence and FT- IR spectroscopies. Furthermore, we are analysing the Hyperspectral Precursor of the Application Mission (PRISMA) satellite image of the mining study area. In particular, PRISMA is equipped with electro-optical tools, which integrates a hyperspectral sensor with a panchromatic camera ranging from visible to near infrared and up to the infrared shortwave. The objective is to test and exploit the potential of hyperspectral satellite image based on numerous, narrow and contiguous bands.

## Subsurface geological and geophysical data from the Po Plain and the northern Adriatic Sea (North Italy)

Michele Livani<sup>1</sup>, Lorenzo Petracchini<sup>1</sup>, Christoforos Benetatos<sup>2</sup>, Francesco Marzano<sup>2</sup>, Andrea Billi<sup>1</sup>, Eugenio Carminati<sup>3</sup>, Carlo Doglioni<sup>3,4</sup>, Patrizio Petricca<sup>5</sup>, Roberta Maffucci<sup>3,4</sup>, Giulia Codegone<sup>2</sup>, Vera Rocca<sup>2</sup>, Francesca Verga<sup>2</sup>, Iliaria Antoncecchi<sup>6</sup>

<sup>1</sup>CNR - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

<sup>2</sup>Politecnico di Torino

<sup>3</sup>Sapienza Università di Roma

<sup>4</sup>INGV, Roma

<sup>5</sup>ISPRA, Roma

<sup>6</sup>MISE, Roma

The Po Plain (Italy) is one of the most densely populated and productive regions of Europe, characterized by a flourishing economy (also linked to strategic subsurface resources) and several world cultural and natural heritage sites. The coupling of social-economic interests with geological hazards (i.e., seismic, subsidence and flooding hazards) in this area requires accurate knowledge of the subsurface geology, active geological processes, and impact of human activities on natural environments to mitigate the potential natural and anthropic risks.

In the past, the Po Plain and the northern Adriatic Sea subsoil was intensively studied for hydrocarbon exploration/exploitation purposes, in fact, the area hosts many hydrocarbon fields that were discovered since the early 1950s. Accordingly, a large amount of subsurface data (e.g., deep well data and seismic reflection profiles) are available.

Geological-geophysical data from 160 deep wells were collected and digitized (including specific sets of well logs, such as Spontaneous Potential, Resistivity, Gamma Ray, and Sonic logs) along with several published geological cross-sections and maps. Finally, all data were interpolated and the three-dimensional (3D) geometry of the main subsurface geological units (i.e., magnetic basement top, carbonate top, Pliocene base, Calabrian base and base of the Quaternary coarse-grained deposits) was reconstructed. The digitized data and the reconstructed geological surfaces are suitable to be imported into 3D geo-software environments so to define the distribution of the geological units and their geophysical-mechanical properties in applied and scientific studies, such as geomechanical, geophysical and seismological studies.

The integrated dataset may represent a useful tool in defining strategies to ensure the safety of the urbanized areas and human activities and to reduce natural and anthropic risks that may affect this crucial region of Europe. Nowadays, such issues are particularly relevant for the underground industry development related to the increasing interest on possible CO<sub>2</sub> and hydrogen underground storage, which can play a fundamental role in the energy transition process towards the decarbonisation goals.

# Classificazione del territorio per l'analisi degli effetti sismici di sito e della franosità sismo-indotta

Amerigo Mendicelli, Federico Mori, Giancarlo Ciotoli, Chiara Varone, Massimiliano Moscatelli

CNR - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

L'obiettivo del presente lavoro è definire, attraverso algoritmi di classificazione non supervisionata, una suddivisione del territorio Nazionale che tenga conto delle unità geo-litologiche e delle caratteristiche geomorfologiche. Le classi così ottenute sono finalizzate sia alle analisi sismiche degli effetti di sito sia allo studio di fenomeni di franosità sismo-indotta.

A tal fine le unità geologiche della carta nazionale a scala 1:100.000 sono state caratterizzate in chiave sismica attraverso una statistica delle misure di Vs30 relative alle indagini estratte dal DBMS e ricadenti in ciascuna unità. Lo stesso approccio è stato messo in atto per diversificare le unità geologiche in base alla densità di frana mediante l'uso del catalogo IFFI.

In questo modo è possibile trattare variabili categoriche, quali la descrizione geologica, in modo numerico, nello specifico come Vs30 medio e come densità di frana, rendendo così possibile l'applicazione di algoritmi di classificazione non supervisionata che non accettano la mescolanza di *features* di tipo categorico e numerico

Le *features* morfologiche utilizzate sono la pendenza e HAND (Height Above the Nearest Drainage) ricavate entrambe dal modello digitale del terreno.

La classificazione è stata eseguita in ambiente Python utilizzando l'algoritmo K-means a partire da un dataset raster con risoluzione 100m x 100m e contenente le suddette *features*. Il territorio è stato suddiviso in 40 gruppi che sono stati accorpati a giudizio esperto in 15 classi in base alle loro caratteristiche e all'importanza delle *features* all'interno ciascun cluster. Per meglio spiegare e descrivere questi gruppi è stato utile costruire un dendrogramma e grafici t-SNE (*t-distributed stochastic neighbor embedding*) rispetto ai centri dei 40 gruppi iniziali.

## SEARCH

### (Seismic Emergency Assessment and Response Computing Hub)

Federico Mori<sup>1</sup>, Amerigo Mendicelli<sup>1</sup>, Gianluca Acunzo<sup>2</sup>, Chiara Varone<sup>1</sup>, Flavio Bocchi<sup>3</sup>, Daniele Spina<sup>3</sup>, Giuseppe Naso<sup>3</sup>, Giancarlo Ciotoli<sup>1</sup>, Francesco Stigliano<sup>1</sup>, Massimiliano Moscatelli<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CNR – Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

<sup>2</sup>Theta Group Srl

<sup>3</sup>Dipartimento della Protezione Civile, Roma

SEARCH è un software per la gestione delle emergenze sismiche che, in tempo quasi reale, nella fase immediatamente successiva all'accadimento di un evento, realizza mappe di impedenza per frane, liquefazioni e crolli di edifici che possono colpire infrastrutture fondamentali.

Usando algoritmi di machine learning e potenti risorse di calcolo che usano in fase di allenamento i dati della RAN (Rete Accelerometrica Nazionale) e dell'OSS (Osservatorio Sismico delle Strutture) del Dipartimento Nazionale di Protezione Civile, SEARCH fornisce un'analisi quasi in tempo reale degli effetti di un evento sismico sul territorio. Simula l'impatto del sisma sulle reti stradali, facilitando l'identificazione delle criticità principali e definendo le priorità dei sopralluoghi sul campo.

SEARCH utilizza modelli di apprendimento automatico per rilevare le zone con elevata probabilità di frane sismo-indotte, liquefazioni del terreno e grave danneggiamento dell'edificato interferente. Le mappe di impedenza realizzate sono strumenti preziosi per il sistema di gestione dell'emergenza della Protezione Civile perché possono delineare l'organizzazione delle risorse, definire la logistica e tracciare i percorsi più sicuri per i veicoli di soccorso.

SEARCH rappresenta un progresso significativo nella gestione delle emergenze sismiche. Fornisce modelli predittivi con dati di "livello 0" ma con tempestività, il che consente a chi interviene sul campo nelle prime ore di capire meglio le condizioni del territorio, allocare efficacemente le risorse e fare scelte strategiche

# Rilievi LiDAR da drone per cartografia geologica, studio di deformazioni attive e recenti di origine tettonica e vulcano-tettonica, analisi dell'instabilità di versante e geoarcheologia

Gianluca Norini<sup>1</sup>, Grazia Caielli<sup>1</sup>, Roberto de Franco<sup>1</sup>, Gianluca Groppelli<sup>1</sup>, Livia Tirabassi<sup>2</sup>, Massimo Botto<sup>2</sup>, Argelia Silva-Fragoso<sup>3</sup>, Tatiana Pedrazzi<sup>2</sup>, Velio Coviello<sup>4</sup>

<sup>1</sup>CNR - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

<sup>2</sup>CNR - Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale

<sup>3</sup>Università dell'Insubria

<sup>4</sup>CNR-Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica

La Sezione di Milano del CNR-IGAG ha recentemente acquisito un sistema SAPR (Sistema Aereo a Pilotaggio Remoto) dotato di LiDAR (Light Detection and Ranging) e telecamera termica radiometrica. La strumentazione è stata acquisita con l'obiettivo primario di supportare attività di indagine geofisica e rilievo geologico. In questo contributo vengono presentate alcune delle prime applicazioni del sistema LiDAR GeoSun imbarcato sul drone Matrice 600. Il LiDAR è dotato di laser Livox Avia, con emissione di 240.000 impulsi al secondo e registrazione fino a tre echi su distanze massime di circa 400 metri con un angolo di vista di 70° perpendicolare alla direzione di volo. La quota tipica di volo durante la fase di acquisizione è compresa tra i 35 e i 120 metri dal suolo con velocità dell'aeromobile di 5-6 m/sec. Durante il volo vengono anche registrate immagini RGB utilizzate in fase di elaborazione per colorare la nuvola di punti. I dati vengono georeferenziati tramite PPK (Post-Processed Kinematic) sfruttando le registrazioni rinex di una stazione portatile GNSS Emlid Reach RS2 e successivamente allineati, elaborati e classificati in programmi proprietari GeoSun e programmi GIS (ArcGIS Pro).

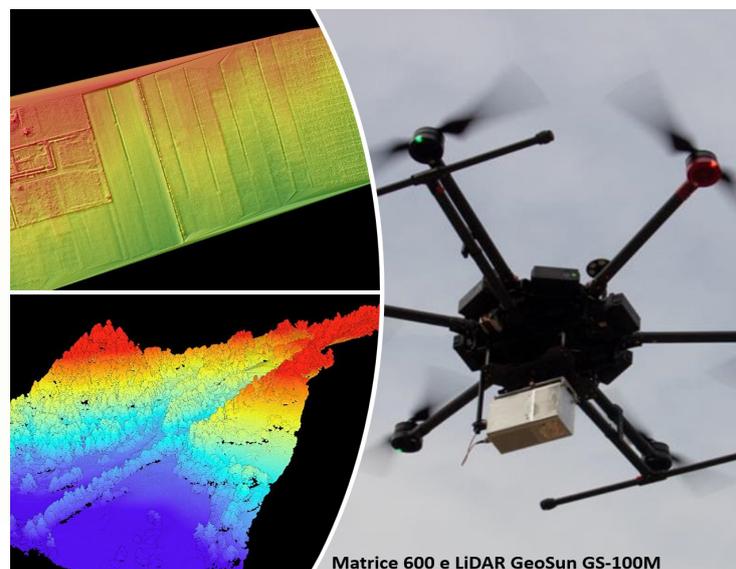


Figura 1. Drone equipaggiato con LiDAR GeoSun GS-100M (sulla sinistra) e DTM ad alta risoluzione prodotti tramite suo utilizzo (a destra).

I prodotti principali che vengono realizzati sono nuvole di punti classificate (.las), DTM (Digital Terrain Model), DSM (Digital Surface Model) e ortofoto. Da questi elementi è possibile estrarre ulteriori prodotti in base alle esigenze delle ricerche condotte. Gli esempi presentati riguardano lo studio geologico e della deformazione tettonica e vulcanotettonica sull'Isola di Ischia e nel campo geotermico della caldera di Los Humeros (Messico), l'analisi del drenaggio, dell'instabilità di versante e del trasporto di sedimenti nel torrente Gatria (Trentino) e lo studio geoarcheologico del sito Fenicio-Punico di Pani Loriga (Sardegna). Inoltre, la strumentazione LiDAR SAPR in dotazione alla Sezione di Milano del CNR-IGAG verrà coinvolta nei rilievi dei dissesti causati dalla recente alluvione in Emilia-Romagna, con una campagna di acquisizione programmata per giugno 2023.

# Glaciali ed interglaciali degli ultimi 240ka nel golfo di Corinto (Grecia) attraverso lo studio degli ostracodi bentonici dei sondaggi IODP (Exp. 381 M0078 e M0080)

Roberta Parisi<sup>1</sup>, Ilaria Mazzini<sup>1</sup>, Thomas M. Cronin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CNR - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

<sup>2</sup>U.S. Geological Survey, Florence Bascom Geoscience Center, Reston, USA

Gli ostracodi hanno un enorme potenziale per il monitoraggio ecologico e le analisi paleoambientali in ambienti dinamici. In particolare lo studio delle associazioni a ostracodi risulta particolarmente efficace in ambienti transizionali da dulcicoli-salmastri a marini. Sono ottimi indicatori paleoambientali soprattutto per le ricostruzioni di ambienti che si connettono e disconnettono dal mare aperto e che sono quindi caratterizzati da variazioni continue dei parametri chimico fisici.

Durante la spedizione 381 dell'International Ocean Discovery Program (IODP) nel golfo di Corinto, sono state prelevate 3 carote in differenti settori del bacino: M0078 e M0079 nel centro del Golfo di Corinto, M0080 nella parte orientale del golfo, denominate Golfo di Alkyonides. Sono stati studiati gli ostracodi bentonici dei due sondaggi M0078 e M0080.

I due sondaggi hanno tassi di sedimentazione differenti che influenzano la diversità e la ricchezza delle associazioni a ostracodi. Il confronto tra le ostracofaune dei due sondaggi ha permesso di identificare due ambienti differenti: 1) Marino mediterraneo (*Cytheropteron* spp.; *Henryhowella* spp.; *Aurila* spp.; *Cytherois* spp.); 2) Salmastro Ponto-Caspico (*Amnicythere* spp.; *Tuberoloxococoncha* spp.; Candonidae). Queste associazioni indicano una storia complessa di variazioni del livello del mare che modificarono il drenaggio e la profondità del Golfo di Corinto durante gli ultimi 240 ka. L'analisi degli ostracodi bentonici ha permesso di ricostruire in dettaglio la storia dei cicli glaciali e interglaciali dal Pleistocene Medio a oggi.

## Progetto CARG “Mondragone” e “Caserta Ovest”: Ricostruzione dell’assetto stratigrafico del sottosuolo della Piana del Volturno

Andrea Pietrosante<sup>1</sup>, Federico Artegiani<sup>2</sup>, Giammarco Fagioli<sup>1</sup>, Biagio Giaccio<sup>1</sup>, Salvatore Ivo Giano<sup>3</sup>,  
 Ilaria Mazzini<sup>1</sup>, Lorenzo Monaco<sup>1</sup>, Maria Luisa Putignano<sup>1</sup>, Romeo Toccaceli<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CNR - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

<sup>2</sup>Università degli Studi di Napoli Federico II

<sup>3</sup>Università degli Studi della Basilicata

Nell’ambito della realizzazione da parte del CNR-IGAG dei fogli CARG n°429 “Mondragone” e 430 “Caserta Ovest” sono state svolte numerose attività di campagna e di laboratorio che, sinteticamente, hanno previsto oltre al rilevamento geologico e alla successiva analisi dei campioni prelevati per la caratterizzazione delle varie unità presenti, anche una serie di attività connesse alla comprensione dei rapporti spaziali e geometrici in profondità dei corpi geologici. In particolare tra le varie attività previste ed in corso di realizzazione vi è la ricostruzione di un modello geologico del sottosuolo in cui confluiscono tutte le informazioni ricavate. Le informazioni raccolte sono state gradualmente integrate in un database geospaziale in ambiente GIS ed utilizzate per le successive fasi di lavoro. L’area su cui si concentra l’attenzione per i dati del sottosuolo è quella della Piana del fiume Volturno (da qui in avanti PFV) che ricade quasi interamente nei fogli 429 e 430. Essa si presenta con una forma quadrangolare generata dalla fagliazione Plio-Quaternaria che ha accompagnato l’apertura del bacino di retro arco tirrenico e che ha originato nella PFV una struttura a graben con rigetti di migliaia di metri lungo i fianchi delle dorsali carbonatiche. I sondaggi profondi disponibili da bibliografia o analizzati dai dati provenienti dai sondaggi per esplorazione di idrocarburi confermano l’assenza di depositi marini del Pliocene e quindi lasciano ipotizzare che alla fine del Neogene la piana fosse emersa. Nel Pleistocene la PFV ha continuato ad essere sottoposta ad una forte subsidenza tettonica che ha creato le condizioni per l’accumulo di oltre 3000 metri di spessore di depositi. All’inizio del Pleistocene superiore il riempimento della piana è stato realizzato oltre che da ingenti spessori di depositi sedimentari anche da prodotti vulcanici provenienti da differenti punti di emissione. A circa 40ka un evento eruttivo di origine flegrea ha messo in posto ingenti quantità di materiale da flusso piroclastico conosciuto in letteratura con il nome di Ignimbrite Campana o Tufo Grigio Campano (TGC) che ha coperto in modo uniforme la precedente morfologia della piana con spessori di diverse decine di metri. Durante l’Olocene con la risalita del livello eustatico post OIS-2, nella PFV si formano sistemi lagunari e palustri localizzati circa 5 km più internamente rispetto alla linea di costa attuale. La presenza a più altezze di tefra e livelli di torbe nella successione stratigrafica del PFV ne consente il loro utilizzo come markers geocronologici. Inoltre le relazioni spaziali e geometriche relative a ciascun marker consente di ottenere delle correlazioni per comprendere l’andamento nel sottosuolo della piana degli orizzonti ritenuti più significativi. Con questi obiettivi sono stati realizzati ex-novo 20 sondaggi di 30 metri e 2 sondaggi da 80 metri (figura 1), i quali sono stati utilizzati anche per revisionare criticamente le stratigrafie provenienti da circa 1500 sondaggi

esistenti. Sui sondaggi di nuova realizzazione sono state effettuate, ed in parte sono ancora in corso, oltre ad una analisi sedimentologica e micropaleontologica anche le analisi mineralogiche e le datazioni assolute dei campioni di tefra con il metodo  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  nonché le datazioni dei campioni di torbe tramite  $^{14}\text{C}$ . Le profondità dei sondaggi a disposizione e di quelli di nuova realizzazione hanno consentito di ricostruire l'andamento nel sottosuolo dell'unità TGC che presenta anche una certa continuità spaziale in tutta l'area di studio del CARG. Nella figura 2 è riportata a solo titolo esemplificativo la quota assoluta in metri s.l.m. del letto del TGC che quindi rappresenta anche la paleomorfologia al momento della deposizione di questa unità al netto di dislocazioni tettoniche successive. Questo orizzonte come altri ritenuti di interesse ad esso sovrastanti e sottostanti verranno implementati nelle successive fasi del progetto CARG anche in un modello 3D in corso di realizzazione.

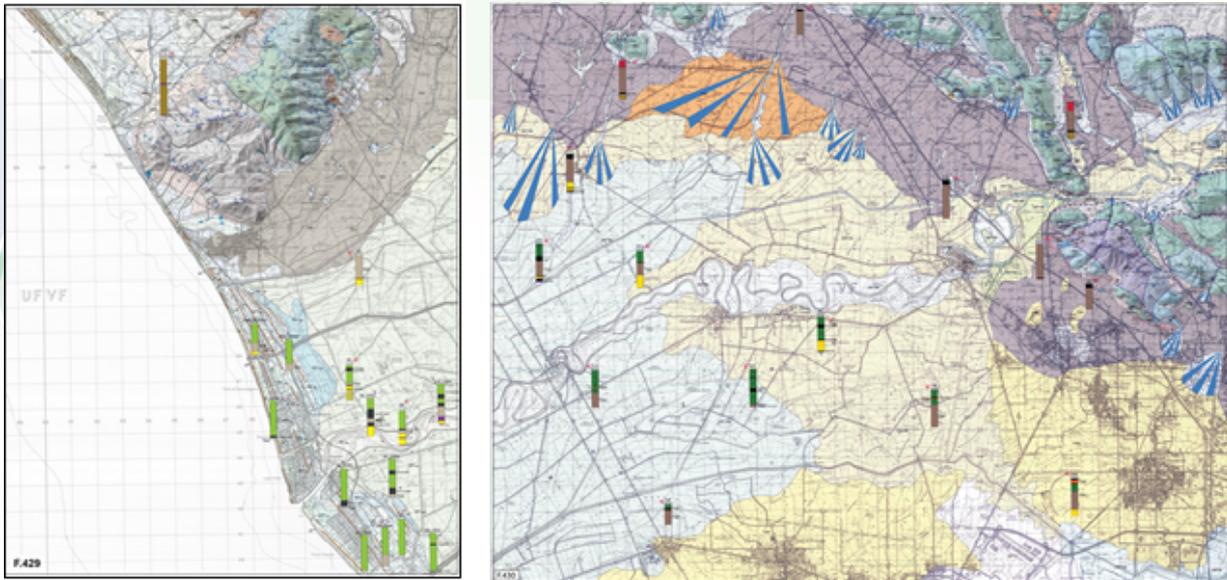


Figura 1: Localizzazione sondaggi CARG F.429 e F.430 con relative colonne stratigrafiche di sintesi.

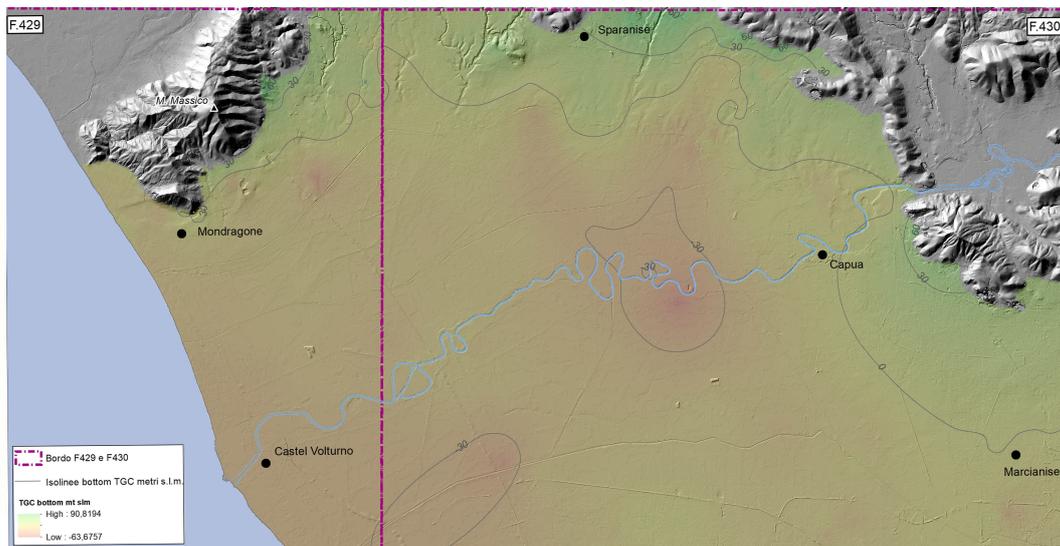


Figura 2: Superficie di letto del Tufo Grigio Campano (TGC) età circa 40ka, quote assolute in metri slm.

# Study and analysis of geophysical and geological data for the reconstruction of surface structures in the Brescia basin

Davide Rusconi, Grazia Caielli, Gianluca Norini, Roberto de Franco  
 e Gruppo di Lavoro CARG Brescia

CNR - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

In this work, we present the result of the analyses of the data available from surface geophysical studies with the aim of creating a database of the physical parameters characterizing the lithotypes outcropping to the depth of the "seismic" bedrock in the area of CARG Brescia. Quaternary deposits will be analyzed up to the maximum depth achievable by geophysical prospecting in order to associate geological units with engineering-geological units (UGT) and attribute the  $V_s$  and  $V_p$  values.

The study area, located in Northern Italy, corresponds to a part of the northern sector of the Po Plain within the Lombardian Basin of the Southern Alps, South of the Tonale Line. For the reconstruction of the surface part, it has been decided to use seismic microzonation studies (MS) completed and validated and provided by the Lombardy Region. The MS contain both geophysical investigations (MASW, REMI, seismic refraction, down-hole seismic tests, HVSR and water wells. Further, we also used, in order to have a greater coverage of the territory, water wells from the ISPRA and CNR database. The data and information retrieved and analyzed have been collected in Excel files, each survey contains the identification code from MS studies, the geographical coordinates, layer thickness and velocity values. The hydrogeological data included in the table have, in addition to a regional identification code and the values of longitude and latitude, the thickness and description of the layer. The fundamental objective of the work is the association of UGT to each layer identified and inserted in the tables of geophysical tests. Also for the hydrogeological data, we try to assign to each layer the UGT. The results of 246 geophysical surveys and 623 hydrogeological data, mainly water wells, were analyzed. These were the starting point for the statistical analyses carried out with ArcGis and ArcGis Pro.

The statistical analyses carried out relate above all to the velocities  $V_s$ . Using the information derived from the analysis, it has been possible the attribution of the velocity range  $V_s$  to each UGT recognized within the Brescia basin. The results of the statistical analysis on the distribution and dispersion of the  $V_s$  values obtained from the various geophysical surveys were represented, for each type of GT unit, through box plot diagrams, which allowed comparisons on the distribution of  $V_s$  among the various classes of engineering geological units.

This approach can be used both for further seismic microzonation studies and to classify and attribute a category to the soil. Starting from the lithostratigraphy of a known area, without having to make further geophysical investigations, it is possible to derive the velocities  $V_s$  and so classify the soil. Then we try to verify whether indeed the velocity values attributed to the engineering-geological units can also be extended as average values at the UGT recognized in the wells. Comparisons were

made between seismic surveys and nearby water wells and it was observed that on average these values of  $V_s$  within the study area can be considered representative.

A future work could be to extend the values of  $V_s$  even in areas where only water wells are present and there are no geophysical surveys such as, for example, in the central part of the study area.

Interpolations were also made, using ArcGis Pro with the aim of extending the information and trying to build a preliminary 3D model of the subsoil.

The in-depth study carried out of the area of the Brescia basin can be considered a test area for lowland geological environments, other tests could be done in different geological and morphological contexts to verify the applicability of this methodology, and possibly extend the study at regional level and then try to extend it to a national scale.

## Approcci integrati per lo studio della liquefazione in aree costiere: applicazioni alla microzonazione sismica

Daniel Tentori, Monia Coltella, Marco Mancini, Patrizio Pacitti, Federica Polpetta,  
Francesco Stigliano, Chiara Varone

CNR - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

Questo studio si pone l'obiettivo di definire un approccio integrato mirato allo studio della liquefazione in aree costiere. Partendo dall'analisi di elementi fisiografici, stratigrafici e idrogeologici, sono state identificate le zone più critiche in termini di liquefazione attesa in aree di studio pilota ubicate lungo la costa marchigiana. Le zone più critiche includono l'intersezione tra la fascia di spiaggia e le foci fluviali, le fasce di strandplain prospicienti la fascia collinare e i tratti alluvionali più interni.

Il modello geologico preliminare ricostruito grazie all'ausilio di pannelli di correlazione stratigrafica di log di sondaggio e prove penetrometriche lungo tracce seriate parallele e perpendicolari alle principali direzioni di sviluppo degli ambienti di sedimentazione, consente di avere una visione 3D delle geometrie dei corpi suscettibili a liquefazione nei primi 30 metri di profondità dal piano campagna permettendo l'individuazione di sottodomini geologici omogenei in termini di suscettibilità alla liquefazione.

Definito il modello geologico preliminare la metodologia proposta prevede l'analisi e digitalizzazione dei dati geotecnici pregressi al fine di calcolare un indice preliminare di suscettibilità alla liquefazione che permetterà la validazione dell'omogeneità del sottodominio supportando la spazializzazione degli indici di liquefazione definitivi all'interno dei sottodomini geologici.

Questa metodologia è stata applicata agli studi di microzonazione sismica di III livello di quattro comuni: Fano, Senigallia, Porto Recanati, Porto San Giorgio. L'applicazione agli studi di microzonazione ha necessitato dell'individuazione di sottodomini geologici omogenei all'interno delle MOPS effettuata seguendo criteri geomorfologici e stratigrafici e sono in corso le fasi di elaborazioni degli indici preliminari.

L'analisi di questo caso studio sta mettendo in luce come, lo studio della liquefazione in aree costiere necessiti dell'integrazione di un approccio geologico-sedimentologico a quello geotecnico, al fine di risolvere la complessità intrinseca del fenomeno.

## Approccio multidisciplinare integrato per l'individuazione ed il recupero di materie prime da rifiuti minerari mediante telerilevamento

Stefano Ubaldini<sup>1</sup>, Daniela Guglietta<sup>1</sup>, Vanesa Silvani<sup>2</sup>, Stefano Milia<sup>1,3</sup>, Ana Rosa Castaño Gañán<sup>4</sup>,  
Giovanna Cappai<sup>1,3</sup>, Roxana Paula Colombo<sup>2</sup>, Francesca Trapasso<sup>1</sup>, Rosamaria Salvatori<sup>5</sup>,  
Alicia Godeas<sup>2</sup>, Adalgisa Scotti<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>CNR – Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

<sup>2</sup>Universidad de Buenos Aires, Argentina

<sup>3</sup>Università degli Studi di Cagliari

<sup>4</sup>UTN FRSR – ICES – Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina

<sup>5</sup>CNR – Istituto di Scienze Polari

Il presente studio consiste in attività di cooperazione internazionale sviluppate in un Progetto congiunto tra Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG) ed International Center for Earth Sciences (ICES) - Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), Bioenvironmental Laboratory, San Rafael, Mendoza, Argentina.

Il Progetto "Integrated multidisciplinary approach for the identification and recovery of raw materials from mining waste, by remote sensing" è stato selezionato nel quadro del Programma Esecutivo di Cooperazione Scientifica e Tecnologica tra la Repubblica Italiana e la Repubblica Argentina per il triennio 2021-2023 dal MAECI (Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale) e dal MINCyT (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación) per l'Italia e l'Argentina rispettivamente.

L'obiettivo è la realizzazione di una strategia multidisciplinare integrata per la caratterizzazione dei rifiuti minerari con il recupero di risorse economicamente strategiche quali materie prime (SRMs) come Fe, Mn, W, Zn, Pb, Ag, Cu, Cd e materie prime critiche (CRMs) come Ba, Ga, P, Sb, Sr e terre rare, perseguendo una strategia innovativa ed eco-sostenibile per la valorizzazione dei suddetti rifiuti, basata su (Figura 1):

- 1) mappatura e classificazione dei residui minerari mediante nuove tecnologie sensibili (come il telerilevamento);
- 2) caratterizzazione chimica, mineralogica, fisica e morfologica dei residui minerari;
- 3) fitoestrazione assistita da micorrizici di SRMs e CRMs da residui minerari, con il loro conseguente accumulo sui tessuti vegetali;
- 4) recupero di SRMs e CRMs da biomassa mediante metodi idrometallurgici e/o elettrochimici.

I dati chimici e mineralogici ottenuti dalle analisi di laboratorio vengono associati alle firme iperspettrali acquisite mediante spettrometro, per creare una mappa dei depositi dei residui minerari utilizzando la nuova classificazione satellitare multispettrale Sentinel-2A.

Originalità e innovatività sono dovute all'approccio multidisciplinare integrato, all'applicazione di tecnologie ecosostenibili innovative (potenzialmente applicabili a rifiuti industriali di diversa tipologia) e alla classificazione, attraverso tecnologie satellitari, di aree minerarie per una gestione efficiente dei rifiuti con l'individuazione delle più adatte per l'attività di biorisanamento ed estrazione di SRMs e CRMs.

Scopo principale della fase di estrazione è raggiungere un recupero del 95% dei metalli, accumulati e concentrati sulla biomassa vegetale. La fase di purificazione mediante metodi elettrochimici, permette di raggiungere un livello di purezza superiore al 99%, per consentire un riutilizzo industriale di materie prime strategiche e critiche, nel contesto di un approccio di economia circolare.

I siti oggetto di studio includono miniere in Italia (Montevecchio, Sulcis Iglesiente, Sardegna), Argentina (Paramillos de Uspallata, Mendoza; Complejo Minero Fabril San Rafael - CMFSR, Mendoza; Los Cóndores, Merlo, San Luis) e India (Joda West, Odisha).

Il progetto coinvolge soggetti pubblici e privati del settore minerario interessati al recupero di SRMs e CRMs e, contestualmente, al ripristino dell'area industriale, prevede uno scale-up per l'applicazione della procedura sul territorio.

Il concetto di utilizzo, riutilizzo, recupero e riduzione dei rifiuti fa parte di un modello di economia circolare che include fattori ambientali, economici e geopolitici. Ad oggi sono stati effettuati due scambi, con lo scopo principale di campionare i rifiuti minerari nei siti minerari Argentini ed Italiani oggetto degli studi e di finalizzare le attività sperimentali congiunte programmate che, fino ad ora, hanno prodotto 16 pubblicazioni su riviste con IF e negli atti di Congressi Internazionali.

Parte delle attrezzature impiegate è stata acquistata con fondi del progetto «Capitale naturale e risorse per il futuro dell'Italia (FOE 2020)».

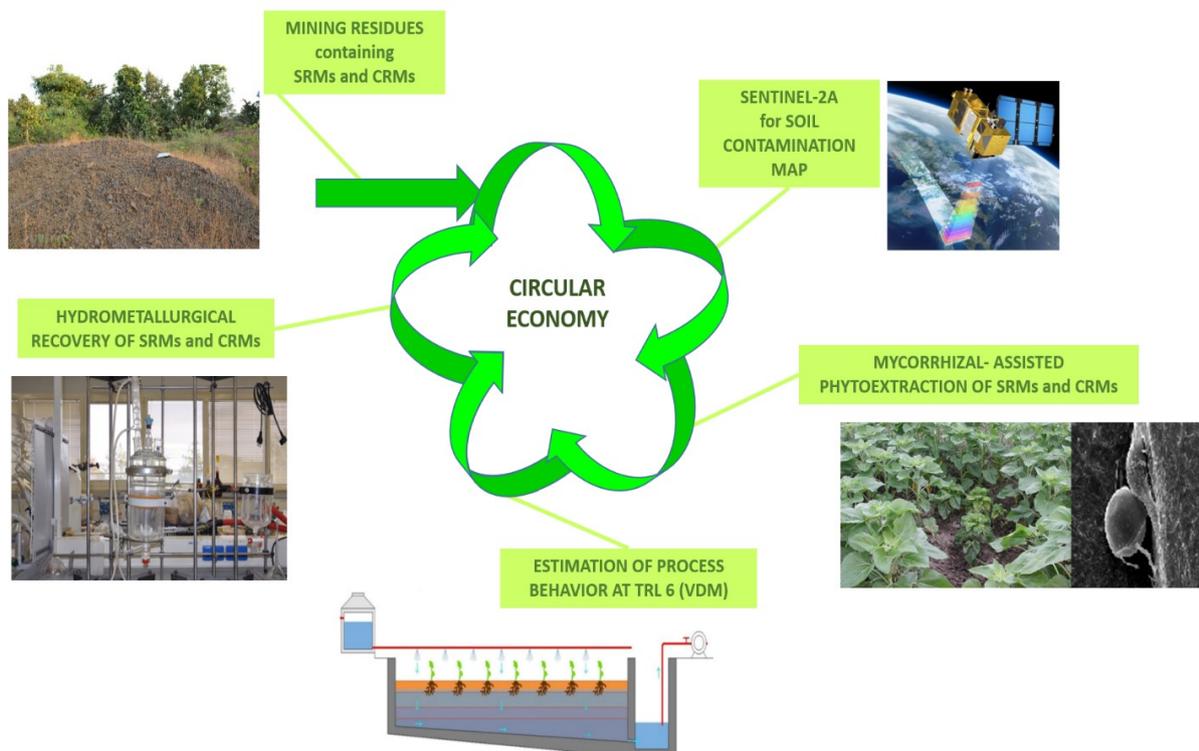
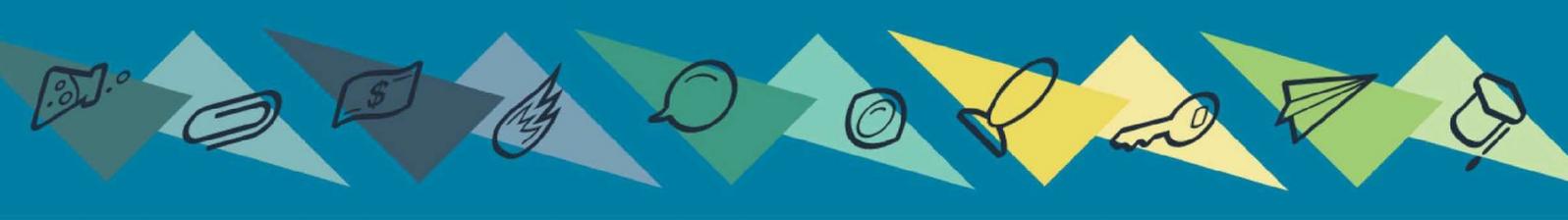


Figura 1: strategia innovativa ed eco-sostenibile per la valorizzazione dei residui minerari.



# IGAG Days

