



ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI

CONFERENCE

GEOSCIENCES NEXTGEN: EARTH TELESCOPE

19-20 NOVEMBER 2025

ABSTRACT

Scientific Organizing Committee: Massimiliano BARCHI (Linceo, Università di Perugia), Luca BINDI (Linceo, Università di Firenze), Carlo DOGLIONI (Presidente della Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali dell'Accademia Nazionale dei Lincei, coordinatore), Elisabetta ERBA (Linceo, Università di Milano), Stefano POLI (Linceo, Università di Milano), Fernando SANSÒ (Linceo, Politecnico di Milano).

PROGRAMME

The scientific community stands at a pivotal moment in the understanding of our planet. As technological advancements push the boundaries of observation and analysis, the time has come to adopt a new, integrated vision of the Earth system. The conference *Geosciences NextGen: Earth Telescope* brings together leading researchers, emerging scholars, and interdisciplinary thinkers to explore the latest discoveries and future challenges in geosciences.

This meeting will serve as a dynamic platform to examine the composition, evolution, and dynamics of the Earth, from its inner structure to surface processes that shape our continents and oceans.

Moreover, in an era marked by rapid change, the conference addresses the urgent need to assess natural hazards and sustainable resource management. From seismic to volcanic risks, we will explore how geoscience can inform policy and resilience strategies for societies facing an uncertain future.

Geosciences NextGen: Earth Telescope invites participants to zoom in and out—from microfossils to megathrusts, from ancient climates to emerging threats—through a lens that is both retrospective and forward-looking. By fostering collaboration across disciplines and generations, this meeting aims to shape the next era of Earth science.

Wednesday 19 November

14.00 Carlo DOGLIONI (Presidente della Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali dell'Accademia Nazionale dei Lincei): *Indirizzi di saluto*

Deep Earth frontiers: Processes, probes, and planetary cycles

Chair: Luca BINDI (Linceo, Università di Firenze)

14.30 Alberto VITALE BROVARONE (Università di Bologna): *Unconventional energy from the deep: from the emergence of life to a sustainable future*

15.00 Fabrizio NESTOLA (Università di Padova): *Fibrous diamonds: A new perspective on deep Earth fluids*

15.30 Vincenzo STAGNO (Sapienza Università di Roma): *Deep carbon: redox reactions and magmatic transport from Earth's interior to the surface*

16.00 Coffee break

16.30 Francesca BIANCO (INGV, Napoli): *Becoming Eruption: Deep Earth Clues and the Challenge of Forecasting*

17.00 Piero POLI (Università di Padova): *Global Seismology Beyond Earthquakes: New Perspectives for Old Instruments*

17.30 Marco SCAMBELLURI (Università di Genova): *Subduction-zone recycling of water and fluid-mobile elements by the altered oceanic lithosphere*

18.00 Discussion

Thursday 20 November

Signals from below: Geophysical insights into earthquakes and volcanoes

Chair: Giulio DI TORO (Linco, Università di Padova)

- 9.00 Luca DE SIENA (Università di Bologna): *Geophysical responses to petrophysically consistent volcanic models*
- 9.30 Claudio CHIARABBA (INGV): *Seismological imaging of the Earth Structure*
- 10.00 Antonio COSTA (INGV): *Large Magnitude Explosive Eruptions in Earth's Past and Future: Frequency, Mechanisms, and Impacts*
- 10.30 Coffee break
- 11.00 Massimo CHIAPPINI (INGV): *The Earth's dynamics from a potential fields anomalies perspective*
- 11.30 Discussion
- 12.30 Break

Tectonics to life: Deep Earth dynamics and surface evolution

Chair: Elisabetta ERBA (Linco, Università di Milano)

- 14.00 Davide ZANCHETTIN (Università di Venezia): *Volcano-climate interactions: piecing together the puzzle*
- 14.30 Antonio CARACAUSI (INGV): *Earth's Breathing: Tectonic and the recycling of volatiles*
- 15.00 Andrea BILLI (CNR): *From Rupture to Resilience: Lessons from the 2023 and 2025 Earthquakes in Türkiye and Myanmar*
- 15.30 Matteo PICOZZI (Direttore di sezione CRS-OGS): *Earthquakes before they strike: Decoding the preparatory phase*
- 16.00 Coffee break
- 16.30 **Round Table on the future of Geosciences**
- Carlo DOGLIONI (Presidente della Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali dell'Accademia Nazionale dei Lincei), Comitato ordinatore del convegno, Rodolfo CAROSI (Presidente SGI), Paolo MAZZOLENI (Presidente SIMP), Annalisa FERRETTI (Presidente SPI)

ROMA – PALAZZO CORSINI- VIA DELLA LUNGARA, 10
Segreteria del convegno: convegni@lincoi.it – <http://www.lincoi.it>

Tutte le informazioni per partecipare al convegno sono disponibili su:

All information for attending the conference is available at:
<https://www.lincoi.it/it/manifestazioni/geosciences-nextgen>

Per partecipare al convegno è necessaria l'iscrizione online
Fino alle ore 10 è possibile l'accesso anche da Lungotevere della Farnesina, 10
I lavori potranno essere seguiti dal pubblico anche in streaming
Online registration is required to attend the conference.
Until 10 a.m. access is also possible from Lungotevere della Farnesina 10.
The conference can also be followed by streaming.

L'attestato di partecipazione al convegno viene rilasciato esclusivamente a seguito di partecipazione in presenza fisica e deve essere richiesto al personale preposto in anticamera nello stesso giorno di svolgimento del convegno
The certificate of participation in the conference will be issued only following on attendance in presence and must be requested to the staff in charge on the same day of the conference.

Unconventional energy from the deep: from the emergence of life to a sustainable future

Alberto VITALE BROVARONE (Università di Bologna)

The origin of life on Earth and the search for life beyond our planet remain among the most profound and interdisciplinary challenges in science. Addressing these questions relies on the interplay of three fundamental components: rocks, fluids, and energy sources, which together defined the geochemical framework of the prebiotic Earth. The earliest evidence of life predates the advent of photosynthesis, indicating that alternative, non-photosynthetic energy sources must have played a pivotal role in both the emergence and early persistence of life on our planet.

Following more than a century of debate, the existence of a vast and active subsurface biosphere is now well established, underscoring the role of deep geologic energy as a potential driver for life's origin and preservation within Earth's interior. Over recent decades, multiple geological processes responsible for generating energy sources in the shallow and deep subsurface—across both oceanic and continental settings, and down to depths of several kilometers—have been documented within the known limits for life. Among these, molecular hydrogen and abiotic light hydrocarbons, produced through mechanisms such as serpentinization, radiolysis, and mantle degassing, are the most widespread and energetically significant.

Although the precise setting for life's origin remains debated, deep-sea hydrothermal systems and subsurface environments provide geochemically plausible conditions for early metabolism. Current research is expanding the frontiers of this unconventional energy domain toward increasingly extreme conditions in the Earth's crust and upper mantle, revealing vast and previously unexplored deep energy source regions. These discoveries not only offer new insights into the potential environments that could have supported life's emergence on a tectonically active planet, but also inform the ongoing search for habitable environments beyond Earth.

The same geologic processes and energy sources are now being investigated as promising contributors to the global energy transition, offering a conceptual bridge between the study of life's origins and the pursuit of sustainable solutions for modern society.

Fibrous diamonds: A new perspective on deep Earth fluids

Fabrizio NESTOLA (Università di Padova)

I diamanti sono gli unici materiali geologici in grado di viaggiare per centinaia di chilometri in verticale, in orizzontale e attraverso il tempo per miliardi di anni, rimanendo inalterati dal momento della loro formazione. Quando i diamanti incorporano inclusioni mineralogiche incorporate nel mantello profondo, essi rappresentano una vera e propria finestra aperta sulle regioni più profonde del nostro pianeta altrimenti inaccessibili. In base alla loro profondità di formazione, i diamanti sono classificati in litosferici (formati tra circa 120 e 200 km di profondità) e sublitosferici (formati molto più in profondità, tra 300 e fino a 1000 km). Tuttavia, una terza classe di diamanti – i “diamanti fibrosi” – è molto meno studiata e la loro origine è ancora oggetto di grande dibattito.

Mentre i diamanti litosferici e sublitosferici possono intrappolare inclusioni minerali che forniscono informazioni cruciali sull'interno profondo della Terra, i diamanti fibrosi sono tipicamente caratterizzati dalla presenza di miliardi di inclusioni fluide submicrometriche. Tali inclusioni forniscono informazioni sulla composizione del fluido da cui il diamante si è formato, ma la scarsità di inclusioni mineralogiche limita le informazioni a disposizione relativamente alla loro profondità di formazione.

Durante la relazione, verranno descritti i diamanti fibrosi e confrontati con i diamanti litosferici e sublitosferici; verranno inoltre mostrati i risultati preliminari di uno studio

pilota di un progetto finanziato dal Consiglio Europeo della Ricerca proprio mirato all'indagine dei diamanti fibrosi attraverso una nuova tecnica analitica.

Becoming Eruption: Deep Earth Clues and the Challenge of Forecasting

Francesca BIANCO (INGV, Napoli)

Volcanic eruptions represent the surface manifestation of intricate processes that begin deep within the Earth. Gaining a deeper understanding of these processes is essential to improving our ability to anticipate and mitigate volcanic hazards. Yet, forecasting eruptions remains one of the most formidable challenges in geoscience. This contribution examines how signals from Earth's interior offer vital insights into magma movement and eruption potential. However, the complexity and variability of volcanic systems mean that not all eruptions display clear precursors. Phreatic explosions, for example, can occur with little or no warning when superheated groundwater suddenly flashes to steam. To enhance the reliability of eruption forecasting, continuous, multi-parameter monitoring and rigorous comparison with baseline activity levels are indispensable. Modern strategies combine seismic, deformation, and geochemical observations with physical and numerical modeling to reconstruct magma dynamics and explore possible eruption scenarios. Probabilistic tools, including event trees, are increasingly applied to quantify uncertainty and assess the likelihood of different outcomes. We discuss current advances in multi-parameter monitoring, the integration of machine learning models, and the importance of real-time data in improving short- and long-term forecasting. By tracing the "becoming" of an eruption from its deep origins to surface expression, we aim to highlight both the scientific progress and the persistent uncertainties that shape volcanic risk assessment.

Global Seismology Beyond Earthquakes: New Perspectives for Old Instruments

Piero POLI (Università di Padova)

Broadband seismological stations continuously record ground displacement at the Earth's free surface and form the core of global seismological networks. The primary goal of these networks is to observe earthquake signals to better understand the physics of seismic processes and improve our knowledge of the planet's interior.

However, earthquake signals account for only less than one percent of these datasets. Most of the time, the instruments record what is commonly referred to as seismic noise: oscillations spanning timescales from a few seconds to several years, generated by a wide variety of phenomena occurring within the Earth, at its surface, in the oceans, and even in the atmosphere. What lies beyond earthquakes is the focus of my research.

In my presentation, I will introduce an integrated data analysis framework based on phase coherence, stacking, and spherical harmonic decomposition, which provides a compact and physically interpretable representation of the continuous global seismic wavefield. I will then illustrate how applying this approach to decades of seismological data enables the discovery and characterization of new and poorly understood signals and related physical processes. I will discuss in more detail signals related to fluid resonances in the shallow crust associated with large underground reservoirs, continuously excited Lamb waves propagating in the lower atmosphere, and even the potential use of global seismic data for fundamental gravitational studies, such as probing the presence of dark matter. Overall, my contribution highlights that the continuous recordings from global broadband seismological stations represent an invaluable resource for understanding the interactions among the atmosphere, oceans, and solid Earth, an interaction that is continuous and intensifying in response to rapid climate change.

Subduction-zone recycling of water and fluid-mobile elements by the altered oceanic lithosphere

Marco SCAMBELLURI (Università di Genova)

In our solar system, Earth is the only planet having both plate tectonics and water. At first glance, these two features may not appear directly connected, given that the total amount of water is quite small compared to the overall Earth's mass - only a few hundred mgrams per gram of rock. Nevertheless, water exerts a profound impact on geodynamics and on the geochemical cycles of elements across all scales.

The most effective interplay between water and plate tectonics occurs in subduction zones, where seawater-altered oceanic lithosphere sinks into the mantle. During descent and progressive heating, this hydrated lithosphere releases fluids through the breakdown of hydrous mineral phases. These dehydration reactions regulate the global fluxes of water and other elements, playing a key role in promoting hydration and flux-melting of the supra-subduction mantle wedge. Such processes generate new continental crust and volcanoes at convergent plate margins. Collectively, these mechanisms contribute to the return of volatiles to the exosphere, thereby sustaining Earth's long-term habitability.

This presentation reviews key aspects related to (i) oceanic lithosphere hydration and mantle serpentinization, (ii) processes, structures, fluids allied with subduction-zone dehydration, (iii) deep fluid transport and duration of fluid-rock interaction events, and (iv) deep volatile recycling.

Extensive seafloor alteration incorporates seawater-derived H₂O, Cl, B and noble gases and other fluid mobile elements into the oceanic crust and mantle. During subduction, dehydration of altered (serpentinized) mantle is a major driver in release of fluids enriched in Cl, B, Sr, Rb, Cs, and other fluid-mobile elements. These fluids mirror the trace-element patterns of many arc magmas, thus linking devolatilization of serpentinite and associated rocks to mantle metasomatism and arc magmatism (Scambelluri and Tonarini, 2012). The residual dehydrated rocks retain substantial inventories of volatiles, halogens, and incompatible elements, enabling their recycling to depths beyond the sub-arc regions (Scambelluri et al., 2004).

The global water input into subduction zones per million year is roughly equivalent to the world's oceans volume. Therefore, efficient pathways for fluid escape must develop to drain subduction-related fluids and return them to surface reservoirs in a timescale consistent with slab descent rates of a few centimetres per year. Otherwise, oceans would drain within a few million years only. Recent results and modelling of fluid-release and veining by subduction-zone serpentinite indicate that chemical heterogeneities at multiple scales generate spatially localized, transient fluid pulses rather than continuous, pervasive dehydration flow (Plümper et al., 2016). Estimated timescales for such pulses range from 0.5 to 0.9 Ma (Huber et al., 2024) and maybe be even shorter if accompanied by active rock deformation (e.g. Cacciari et al., 2025). Moreover, the geochemistry of reaction haloes around metamorphic veins suggests fluid-rock interaction timescales of 1-4 weeks, comparable to the duration of seismic tremors (Taetz et al., 2018). These findings imply that fluid-driven metamorphism can occur over surprisingly short timescales, with implications for the true duration of metamorphic transformations.

Despite extensive dehydration beneath volcanic arcs, subduction recycles boron, halogens and other fluid-mobile elements into the deep mantle, as evidenced by blue diamonds and the signatures of mantle plumes

References

Cacciari et al., 2025 *Lithos* 498–499, 107950; Huber et al., 2024, *Earth Planet. Sci. Lett.* 644, 118924; Plümper et al., 2016, *Nat. Geosci.* 10, 150–156; Scambelluri et al., 2004, *Earth Planet. Sci. Lett.* 222 217–234; Scambelluri and Tonarini, 2012, *Geology*, v. 40; no. 10; p. 907–910; Taetz et al., 2018, *Earth Planet. Sci. Lett.* 482, 33–43

Geophysical responses to petrophysically consistent volcanic models

Luca DE SIENA (Università di Bologna)

Feeding systems beneath volcanoes remain largely unknown due to the lack of existing seismic arrays and the challenge associated with applying advanced imaging techniques to volcanic data. Even when such images were obtained, the interpretation of seismic anomalies in terms of what truly matters for understanding volcanoes, such as melt content and geochemical differentiation, would remain largely speculative. However, the use of ambient noise in seismic imaging has significantly increased our detection capability. Additionally, recent advancements in computational speed provide an ideal framework for integrating seismic tomography with petrophysical properties. Here, I will discuss such recent advances which led to the first petroseismic tomography of a volcanic feeding system. The technique can, ideally, reconstruct the most important physical and geochemical quantities that drive volcano dynamics, along with their uncertainties, throughout space. Data collected at the Toba Caldera (Sumatra, Indonesia) comprise thousands of dispersion curves spanning both the shallow crust and the upper mantle, as well as the extensive geochemical and geological information available at this massive volcano. The novel Bayesian transdimensional inversion framework provides S-wave phase-velocity maps that highlight plausible low-velocity sill-like structures under most of the northern and central portions of Toba. The following petrophysical inversion quantifies the melt content within the sill-like structures, the characteristics of the caprock overlaying them, and the anisotropic pathways followed by the four climatic eruptions that have struck the caldera over the past 1.2 Million Years. The results confirm the existence of a deep, extended mafic sill reaching depths of up to 12 km, currently disconnected from similar pockets of melt underneath the Toba Lake, which stall at a similar depth. Inverting for (petro) physically-constrained quantitative images of the current state of a volcano provides a cornerstone for a temporal description of volcanological responses based on physical modelling.

Seismological imaging of the Earth Structure

Claudio CHIARABBA (INGV)

La Tomografia Sismica, i cui primi studi risalgono alla fine degli anni 70, rappresenta uno degli strumenti geofisici più potenti per l'imaging dell'interno terrestre. Sfruttando la variazione delle velocità delle onde sismiche come *proxy* per anomalie termiche e/o composizionali, consente la creazione di modelli 3D e 4D ad alta risoluzione del sottosuolo. L'analisi di queste anomalie permette di vincolare in modo robusto i modelli geodinamici e di ottenere una ricostruzione tridimensionale dettagliata delle strutture litosferiche e del mantello, dalla scala globale (migliaia di chilometri) a quella locale (decine di metri).

Su scala globale, la tomografia ha fornito un quadro osservazionale essenziale per la comprensione dei meccanismi di convezione del mantello. Le regioni caratterizzate da anomalie di alta velocità (materiale più freddo e denso) hanno permesso di tracciare la geometria e la penetrazione delle placche in subduzione fino al mantello inferiore, delineando l'organizzazione su larga scala delle celle convettive. Parallelamente, le anomalie di bassa velocità (materiale più caldo e meno denso) sono state cruciali per l'identificazione e la mappatura dei Plumes, vincolando l'origine del vulcanismo di *hot-spot* e la dinamica del confine nucleo-mantello (come evidenziato dalle LLSVPs). Tali osservazioni sono fondamentali per la calibrazione dei modelli numerici di fluidodinamica del mantello.

A scala regionale, la tomografia permette di ricostruire con precisione l'architettura tridimensionale delle zone attive, degli orogeni, dei bacini sedimentari, delle faglie attive, con profonde implicazioni per la valutazione del rischio.

Nelle aree vulcaniche, è indispensabile per l'imaging del *plumbing system*. Le forti anomalie di bassa velocità sono interpretate come serbatoi magmatici (camere magmatiche) e condotti di risalita. La localizzazione e la caratterizzazione geometrica di queste strutture (profondità, estensione e grado di fusione parziale) permettono di monitorare i cambiamenti volumetrici e di pressione che precedono gli eventi eruttivi, contribuendo significativamente alla modellazione del rischio vulcanico.

Nelle zone tettoniche complesse, la tomografia fornisce informazioni determinanti sulla geometria delle zone di subduzione e sulla struttura crostale. La risoluzione locale consente di delineare le radici dei sistemi di faglia sismogenetici attivi, le variazioni di rigidità all'interno della crosta superiore e inferiore, fondamentali per comprendere i meccanismi di rottura, la distribuzione dello stress e il ruolo dei fluidi nell'innescare la sismicità.

L'integrazione dei dati tomografici, dalla scala globale che definisce il motore geodinamico a quella locale che identifica i dettagli strutturali sismici e vulcanici, è essenziale per una comprensione olistica della Terra. La tomografia non è solo una tecnica di *imaging*, ma un pilastro della ricerca geodinamica moderna, che offre il vincolo osservazionale necessario per tradurre i dati sismici in modelli fisicamente significativi dell'evoluzione terrestre.

Large Magnitude Explosive Eruptions in Earth's Past and Future: Frequency, Mechanisms, and Impacts

Antonio COSTA (INGV)

La presentazione sintetizza le conoscenze attuali sulle eruzioni esplosive di grande magnitudo, con particolare focus sulle super-eruzioni ($M \geq 8$), eventi estremamente rari ma capaci di influenzare il sistema Terra su scala globale. Vengono descritti frequenza, distribuzione e meccanismi tettonico-magmatici che consentono l'accumulo di grandi volumi di magma silicico nelle zone di subduzione e negli hotspot intraplacca. La dinamica delle colonne eruttive e dei pennacchi co-ignimbrici mostra come tali eventi siano in grado di iniettare enormi quantità di aerosol nella stratosfera, causando raffreddamenti climatici significativi e impatti duraturi sugli ecosistemi. Attraverso casi studio come l'Ignimbrite Campana, Toba e Aso-4, si illustrano la dispersione globale delle ceneri, gli effetti atmosferici e le possibili implicazioni per le popolazioni umane. Infine, si discutono rischi futuri associati a grandi caldere attive e l'importanza di migliorare monitoraggio, modellazione e valutazioni probabilistiche per affrontare eventi di bassa frequenza ma altissimo impatto.

The Earth's dynamics from a potential fields anomalies perspective

Massimo CHIAPPINI (INGV)

Earth's dynamics arise from the interplay of deep and shallow processes that shape the Planet's structure and long-term evolution. Remotely-sensed data such as potential field anomalies—primarily gravity and magnetic anomalies—represent one of the most powerful tools to investigate these processes, thanks to their ability to integrate information across scales and to sense physical properties of regions that cannot be accessed directly. These datasets provide fundamental constraints on density, magnetization, and the geometry of crustal and mantle bodies, as well as on their temporal variability.

Gravity anomalies highlight density contrasts associated with major lithospheric structures, including crustal roots, subduction interfaces, mantle heterogeneities, and domains with distinct tectonic histories. Such observations improve our understanding of mantle flow, the forces driving orogenesis, rifting, and the reorganization of active margins. In parallel, magnetic anomalies provide unique insights into the distribution of magnetized

rocks, the thermal and tectonic evolution of the crust, and the structural signatures preserved within ferromagnetic lithologies.

Multi-scale integration of magnetic, gravity, and geological modeling enables the construction of coherent lithospheric scenarios and supports the interpretation of complex geodynamic processes, such as crustal accretion, lithospheric segmentation, and plate boundary evolution. In recent years, satellite missions dedicated to potential fields—such as GOCE, CHAMP, GRACE, and Swarm—have transformed the field by offering global, continuous, and relatively high-resolution observations of the Earth's physical properties. This integrated perspective is crucial for linking deep Earth dynamics to surface expressions, including stress field evolution, magmatic distribution, volcanic processes, seismogenesis, and mass redistribution associated with hydrological or cryospheric changes. When combined with independent geological and geophysical constraints, the interpretation of potential field anomalies has become a cornerstone of modern geodynamics and a key component in developing more robust predictive frameworks.

The presentation will provide an overview of state-of-the-art techniques for carrying out and analyzing potential field anomalies, highlight major scientific results achieved in recent years, and discuss future directions for understanding Earth's dynamics through increasingly integrated observation, modeling, and next-generation research infrastructures.

Volcano-climate interactions: piecing together the puzzle

Davide ZANCHETTIN (Università di Venezia)

Le eruzioni vulcaniche esplosive sono riconosciute come una componente critica del sistema Terra, capaci di innescare significative fluttuazioni climatiche su periodi che possono arrivare a decenni e oltre. Forti eruzioni vulcaniche esplosive causano un temporaneo ispessimento dello strato di aerosol stratosferico, il quale aumenta l'albedo planetario, causando direttamente un raffreddamento della superficie globale come risposta radiativa, mentre contemporaneamente riscalda la stratosfera a causa dell'assorbimento della radiazione termica. A causa di questo duplice effetto radiativo, la forzante vulcanica innesca complesse risposte dinamiche all'interno del sistema accoppiato oceano-atmosfera-ghiaccio marino, il che si traduce in una diversità di risposte climatiche regionali.

Osservazioni climatiche, ricostruzioni e simulazioni evidenziano l'alta specificità degli impatti climatici delle singole eruzioni, che dipendono non solo dalla loro posizione, magnitudo, durata e tempistica, ma anche dalle condizioni climatiche prevalenti al momento dell'evento. Questa specificità complica l'identificazione di impronte regionali definitive della forzante vulcanica, seppur siano state individuate diverse caratteristiche ricorrenti post-eruzione. Tra queste, il verificarsi di un evento El Niño e casi di riscaldamento in Scandinavia e Siberia nei primi inverni boreali successivi a grandi eruzioni tropicali sono tra le più studiate.

Al di là degli eventi isolati, le successioni ravvicinate di forti eruzioni vulcaniche — note come cluster vulcanici — sono tra gli eventi di maggiore impatto che hanno plasmato l'evoluzione climatica negli ultimi millenni. Ad esempio, il cluster vulcanico del XIII secolo, inclusa l'eruzione del Monte Rinjani del 1258, ha contribuito a innescare il periodo freddo multicentenario noto come Piccola Era Glaciale. Più tardi, il cluster che comprendeva l'eruzione del Monte Tambora del 1815 ha contribuito a feroci e iconiche anomalie climatiche, come l'"Anno senza Estate" europeo del 1816.

La recente eruzione sottomarina di Hunga Tonga, con la sua massiccia iniezione di vapore acqueo nella stratosfera, sta attualmente mettendo in discussione il paradigma stabilito della nostra comprensione delle interazioni vulcano-clima.

Questo contributo illustrerà questi ed altri tasselli inseriti nell'ultimo decennio nel puzzle vulcano-clima, e le opportunità di progresso offerte da recenti attività coordinate della comunità scientifica internazionale.

Earth's Breathing: Tectonic and the recycling of volatiles

Antonio CARACAUSSI (INGV)

I fluidi (es. CO₂, H₂O, gas nobili) svolgono un ruolo cruciale in svariati processi nei differenti sistemi geodinamici: sono al contempo influenzati dai processi tettonici e capaci di modificarli. Questi componenti possono restare intrappolati nel mantello per lungo tempo o risalire in superficie attraversando la crosta, lungo le discontinuità tettoniche. Esistono numerose evidenze scientifiche che dimostrano come i fluidi in risalita dall'interno della terra trasportino informazioni essenziali sulla composizione del mantello, sulla genesi e migrazione del magma e sui processi fisico-chimici che regolano i terremoti e l'attività delle faglie.

Per questo, in aree sismicamente attive, i fluidi emessi in atmosfera contengono informazioni su processi profondi e superficiali. Tuttavia, in queste aree la loro origine non è spesso facilmente risolvibile e il loro studio o impiego nel monitoraggio lascia comunque aperti alcuni quesiti: Provengono dal mantello o dalla crosta? E come vengono trasportati dalla profondità alla superficie? Quali meccanismi sono coinvolti: ad esempio, migrazione del magma? Trasporto advettivo lungo faglie attive? Etc etc.

Evidenze scientifiche recenti, basate su indagini multidisciplinari stanno favorendo l'ottimizzazione delle risposte a questi quesiti. Naturalmente, queste risposte sono cruciali per ricostruire la storia del mantello e dell'atmosfera, così come dei processi che modificano il chimismo dei fluidi stessi, la cui comprensione potrà essere di grande supporto al miglioramento della conoscenza dei processi legati alla genesi dei terremoti.

Tuttavia, va osservato che il termine "fluidi" spesso utilizzato in studi multidisciplinari, è molto generale. Il loro comportamento è diverso a diverse condizioni di pressione-temperatura e ancora molti di questi possono essere reattivi, modificando le proprie quantità e composizione isotopica all'interno dei diversi serbatoi terrestri e/o nel trasferimento all'atmosfera lungo le discontinuità tettoniche. Queste sono ancora serie limitazioni per comprendere le interazioni geosfera-atmosfera e per definire/identificare i precursori di terremoti se non si integra la geochimica in un supporto multidisciplinare. Il progresso in questo campo richiede indagini non solo interdisciplinari ma che siano anche supportate da una approfondita ricerca di base.

Nell'ambito del mio intervento discuterò i risultati recenti della ricerca, che analizzano i fluidi emessi in atmosfera in aree tettonicamente attive e che risultano da una interazione tra fluidi provenienti dal mantello/magma, e i fluidi crostali o fluidi modificati chimicamente durante la loro migrazione o stazionamento nella crosta prima di raggiungere l'atmosfera. A tal fine, è stato identificato l'Appennino (Italia) come area target, perché vi è riconosciuto un intenso degassamento in atmosfera di fluidi di origine profonda e inoltre studi multidisciplinari condotti negli ultimi anni offrono la rara opportunità di lavorare con dati provenienti da diverse discipline per indagare l'interno della Terra.

In quest'area è stato possibile riconoscere evidenze geochemiche e geofisiche dell'interazione tra degassamento del mantello, magmatismo e sismicità. In particolare, i fluidi derivati dal mantello si mescolano con quelli prodotti all'interno della crosta, dove reagiscono modificando la composizione chimica e isotopica prima di raggiungere l'atmosfera. Inoltre, gli Osservatori Prossimi alle Faglie (Near Fault Observatories, TABOO e IRPINIA NFOs) producono serie di dati multidisciplinari di lungo periodo, fornendo elementi chiave per interpretare la geochimica dei fluidi emessi in atmosfera lungo l'Appennino. Pertanto, l'area selezionata è un laboratorio naturale ideale per studiare i processi che coinvolgono i fluidi dalle loro sorgenti fino all'atmosfera.

Tutte queste nuove evidenze trovano una vasta applicazione che spazia dalla definizione di nuovi elementi per caratterizzare il mantello su scala regionale e sono anche di supporto per l'integrazione del monitoraggio geochimico a bassa e alta frequenza al fine di indagare il ruolo dei fluidi nei processi legati alla nucleazione dei terremoti.

Infine, discuterò come i nuovi progressi nella scienza di base, insieme all'uso delle nuove tecnologie di monitoraggio in una visione multidisciplinare, hanno ottime potenzialità per aprire nuove prospettive nella comprensione dei problemi scientifici legati al degassamento terrestre in regioni tettoniche attive.

From Rupture to Resilience: Lessons from the 2023 and 2025 Earthquakes in Türkiye and Myanmar

Andrea BILLI (CNR)

Abstract Italiano

I grandi terremoti che hanno colpito la Turchia nel 2023 lungo la East Anatolian Fault e quelli che interessano periodicamente la Sagaing Fault in Myanmar offrono un'occasione unica per comprendere meglio il funzionamento delle grandi faglie trascorrenti della Terra. La ricerca presentata sintetizza quattro studi scientifici che analizzano il comportamento sismico di questi due sistemi tettonici cruciali, esplorando i meccanismi che regolano l'accumulo e il rilascio di deformazione crostale. Gli studi sono stati condotti da ricercatori di CNR IGAG, Sapienza Università di Roma, Università di Messina, e Università di Palermo. Uno degli aspetti più innovativi riguarda il concetto di seismic slip channeling, ovvero la capacità di una faglia di “canalizzare” o, al contrario, “diffondere” la deformazione durante un terremoto. I risultati mostrano che i segmenti più maturi e lineari della faglia tendono a concentrare lo slip, mentre quelli più complessi e giovani producono una sismicità più dispersa e disordinata.

Inoltre, l'analisi storica e strumentale suggerisce che la sismicità lungo la East Anatolian Fault si sviluppa secondo lunghi supercicli, con sequenze di terremoti che migrano progressivamente da nord-est verso sud-ovest, piuttosto che ripetersi a intervalli regolari. Queste scoperte contribuiscono a ridefinire la nostra comprensione dei cicli sismici e ad affinare le valutazioni di pericolosità in aree densamente popolate. Lo studio comparativo tra Turchia e Myanmar mostra come le stesse leggi fisiche possano generare comportamenti complessi e differenziati, ma riconducibili a processi comuni della dinamica terrestre.

Abstract Inglese

The major earthquakes that struck Türkiye in 2023 along the East Anatolian Fault, together with those that periodically affect the Sagaing Fault in Myanmar, provide a unique opportunity to deepen our understanding of the behavior of the Earth's great strike-slip fault systems. This research summarizes four scientific studies that examine the seismic behavior of these two crucial tectonic structures, exploring the mechanisms governing the accumulation and release of crustal deformation. The studies were conducted by researchers from CNR-IGAG, Sapienza University of Rome, the University of Messina, and the University of Palermo.

One of the most innovative aspects concerns the concept of seismic slip channeling—the capacity of a fault to either “focus” or, conversely, “disperse” deformation during an earthquake. The results show that the most mature and linear fault segments tend to concentrate slip, whereas younger and more complex portions generate more scattered and disorganized seismicity.

Furthermore, historical and instrumental analyses suggest that seismicity along the East Anatolian Fault evolves through long supercycles, with earthquake sequences that progressively migrate from northeast to southwest rather than recurring at regular intervals. These findings contribute to redefining our understanding of seismic cycles and refining hazard assessments in densely populated regions.

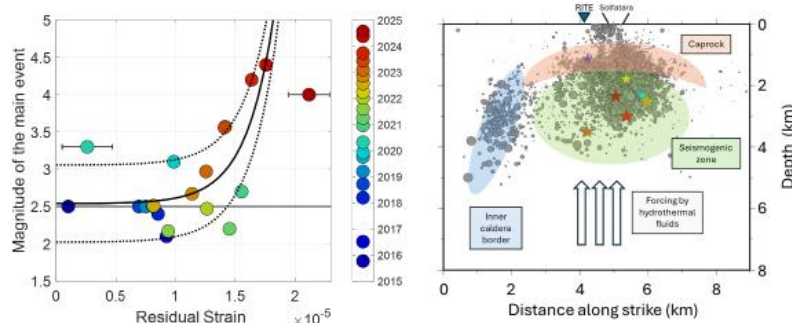
The comparative study between Turkey and Myanmar demonstrates how the same physical laws can give rise to complex and diverse behaviors, yet all ultimately governed by common processes of the Earth's dynamic system.

Earthquakes before they strike: Decoding the preparatory phase

Matteo PICOZZI (Direttore di sezione CRS-OGS)

Although physical models are improving our understanding of the crustal processes that lead to large earthquakes, observing their preparatory phases is still challenging. How, when, and where large earthquakes are generated remain thus a fundamental, unresolved scientific questions. Retrospective analyses reveal that small earthquakes exhibit systematic temporal and spatial patterns, reflecting the progressive weakening of fault systems. These observations provide new insights into the physics of earthquake preparation and offer a framework for identifying regions approaching critical failure, with direct implications for seismic risk mitigation. After reviewing the current state of the field, we will discuss recent findings from studies of Italian earthquakes. In particular, we will focus the discussion on the preparatory phase of major earthquakes during the Campi Flegrei unrest (2020–2024).

Campi Flegrei, a highly populated volcanic area near Naples, has experienced over 20,000 small earthquakes since 2020 due to underground fluid pressure. In the study by Iaccarino et al. 2025 (<https://doi.org/10.1029/2025JB031777>), we show that by tracking ground movement and minortremors, it's possible to identify signs that a larger earthquake may be approaching. We found that the buildup of underground strain, stress that hasn't yet caused a quake, is closely linked to the strength of future earthquakes. These findings could help develop models to predict earthquake size and timing days in advance, improving safety in volcanic areas like Campi Flegrei.



On the left, the proportionality relationship between residual strain and the magnitude of the main events in the Campi Flegrei sequences. On the right, a schematic cross-section of the Campi Flegrei showing how seismicity develops beneath the caprock following the action of deep hydrothermal fluids.